

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Aplikace pro vyhodnocení biologických signálů

Application for Evaluation of Biological Signals

2014

Bc. Agáta Vaverková

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Agáta Vaverková**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3901T009 Biomedicínské inženýrství
Téma: **Aplikace pro vyhodnocení biologických signálů**
Application for Evaluation of Biological Signals

Zásady pro vypracování:

1. Nastudování problematiky poruch spánku.
2. Přehled vyšetřovacích metod poruch spánku.
3. Vytvoření aplikačního software pro analýzu aktigrafie.
4. Klinické testování na pacientech.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NEVŠÍMALOVÁ, Soňa a Karel ŠONKA. *Poruchy spánku a bdění*. 2., dopl. a přepr. vyd. Praha: Galén, 2007. 345 s. ISBN 978-80-7262-500-0.
- [2] BORZOVÁ, Claudia a Roman JIRÁK. Standardy diagnostiky a léčby organicky podmíněných psychických poruch. *Psychiatrie pro praxi*. 2006, roč. 7, č. příloha, s. 1-27. ISSN 1803-5272.
- [3] BORZOVÁ, Claudia. *Nespavost a jiné poruchy spánku*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. 141 s. ISBN 978-80-247-2978-7.
- [4] ZAPLATÍLEK, Karel a Bohuslav DOŇAR. *MATLAB, tvorba uživatelských aplikací*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004. 215 s. ISBN 80-7300-133-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Pieš, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.“

A handwritten signature in blue ink, reading "Vavrková A.", is centered within a light green rectangular box.

Bc. Agáta Vavrková

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Ing. Martinu Piešovi, Ph.D., za vedení, trpělivost, vstřícný přístup a cenné rady při tvorbě softwaru a psaní diplomové práce. Byl mi velkou oporou během náročného studijního roku. Velký dík patří i paní MUDr. Janě Slonkové, za odborné vyjádření k částem spojeným s užíváním softwaru a PhDr. Kateřině Kováčové, DiS, za konzultace v medicínské a psychologické oblasti. Chtěla bych poděkovat své rodině za zázemí, díky kterému jsem mohla vysokou školu dostudovat.

Abstrakt

Diplomová práce byla vytvořena za cílem realizace uživatelského prostředí pro zpracování a vyhodnocování biologických signálů. Biosignál je speciálním druhem signálu, který je vyvolán existencí živého organismu, nebo je z organismu snímán.

Aktigrafie dolní končetiny byla využita k zjištění patofyziologií spánku a neurologických onemocnění mající vliv na spánek. Bylo vyhodnocováno, zda je výhodné její použití pro určité spánkové poruchy místo jiných diagnostických metod. K tomuto byl využit přípravek x-IMU, který je schopný díky několika senzorům poskytnout přesné informace o prostorových souřadnicích. Aktigrafie snímaná z dolní končetiny může být také využita k prokázání účinnosti medikamentů při léčbě nemocí, pro které je typický třes a spasmus v nohou. Potenciál přesnější a detailnější aktigrafie z dolní končetiny lze vidět v screeningu pacientů, kteří projevili podezření na poruchu spánku a pro děti, pro které je běžné vyšetření polysomnografií frustrující.

Klíčová slova

Aktigrafie, patofyziologie spánku, diagnostické metody, spánek

Abstract

This thesis deals with the creation of the user interface for processing and evaluation of biological signals. Biological signal is a special type of signal that is caused by the existence of a living organism or organism is scanned.

The aim was to create a user environment for processing actigraphy records of lower limbs, in order to determine the pathophysiology of sleep. It was evaluated as to whether it is advantageous to use a scan from the lower leg instead of a typical diagnostics methods for certain sleep disorders. Actigraphy recorded from the lower limbs can also be used to demonstrate the efficacy of treatment medicine for diseases characterized with tremors and cramps (muscle cramps) in the legs. The potential for more accurate and detailed actigraphy lower extremity we can see at screening patients who showed a suspected sleep disorder and for children for whom the routine examination by polysomnography is frustrating.

Key words

Actigraphy, pathophysiology of sleep, diagnostic methods, sleep

Seznam použitých symbolů a zkratek

AHRS	Attitude Heading Reference System	Vztažný souřadný systém
CT	Computed tomography	Počítačová tomografie
EEG	Electroencephalography	Elektrická aktivita mozku
EMG	Electromyography	Elektrická aktivita svalů
EOG	Electrooculography	Elektrická aktivita očí
FID	Free-induction decay	Volný indukční rozpad
FNO		Fakultní nemocnice Ostrava
IMU	Inertial Measurement Unit	Inerciální měřicí jednotka
NMR	Nuclear magnetic resonance	Nukleární magnetická rezonance
NREM	Non-rapid eye movement	Jiné než rychlé pohyby očí
PD	Proton density	Hustota protonů
RBD	REM behavior deviance	Odchylka REM spánku
REM	Rapid eye movement	Rychlé pohyby očí
SD	Secure digital	Paměťová karta SD
SDHC	Secure Digital High Capacity	Paměťová karta s vysokou kapacitou
USB	Universal serial bus	Univerzální sériová sběrnice

OBSAH

1.	ÚVOD	1
2.	SPÁNEK	2
2.1	Význam spánku	2
2.2	Polysomnografická oblast	3
2.2.1	Fáze spánku	3
3.	PATOFYZIOLOGIE SPÁNKU	8
3.1	Poruchy projevující se délkou spánku	8
3.2	Poruchy projevující se parasomnií	10
3.3	Poruchy projevující se pohyby končetin ve spánku	11
4.	DIAGNOSTICKÉ METODY	15
4.1	Škály a záznamníky	15
4.2	Elektroencefalografie	16
4.3	Polysomnografie	19
4.4	Výpočetní tomografie	20
4.5	Nukleární magnetická rezonance	23
5.	AKTIGRAFIE	25
6.	HARDWARE x-IMU	27
6.1	Senzory	32
6.2	IMU and AHRS algoritmus	37
6.3	Snímání dat z končetiny	38
7.	SOFTWARE	39
7.1	Základní filtrace dat, funkce DrawData	42
7.2	Analýza signálu	51
7.3	Zobrazení v prostoru	55
8.	TESTOVÁNÍ PROKAZATELNOSTI SPÁNKOVÝCH PORUCH	58
8.1	Syndrom neklidných nohou	58
8.2	Insomnie	61
8.3	Somnambulismus	64
9.	ZÁVĚR	67
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	68
	Přílohy	70
	Příloha A	I

1. ÚVOD

Spánek,

snad každý člověk potřebuje uspokojit tuto potřebu. Existují ovšem někteří lidé, kteří mají tuto potřebu odepřenu. Spánkové poruchy postihují v dnešní době velké množství lidí a snižují kvalitu jejich života. Velmi často se jedná o chvilkové narušení spánkového režimu, vlivem stresu, životního stylu, nebo farmak a po odstranění příčin se spánkový režim vrátí do obvyklé podoby. Jsou ovšem případy, kdy se za špatným spánkem skrývá vážnější příčina.

Tato diplomová práce vznikla na podkladu myšlenky, zda je možné využít několika senzorů k detekci pohybu v 3D zobrazení a zda bude toto zobrazení spolu s vhodným softwarem možné využít v medicínské praxi k detekci spánkových poruch. Vznikl tak jedinečný software, který nám je schopen poskytnout zpětný náhled na kvalitu spánku pacienta, v domácím a pro něj příjemném prostředí na které je zvyklý. Během sběru dat má vyšetřovaná osoba na dolní končetině pásek s kapsou, do které je uložena měřicí jednotka. Tato jednotka snímá data, která jsou dále vyhodnocována lékařem.

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je popsán spánek a poruchy s ním spojené. V této části byly také popsány základní diagnostické metody, které se běžné užívají k zjištění příčiny poruch spánku. V praktické části je vysvětleno co to aktigrafie je, čeho bylo využito ke snímání dat a popis vzniku softwaru. Na konci je ukázáno zpracování některých dat vsoftwaru *Leg's actigraphy*.

2. SPÁNEK

Spánek je útlumově-relaxační fáze organismu, při níž se snižuje či mizí funkčnost některých smyslů. Dochází k snížení krevního tlaku, zpomalení dechové činnosti a poklesu tělesné teploty. Během spánku dochází k regeneraci organismu, k obnově fyzických a psychických sil. Spánek je děj aktivní, schopnost reagovat na podněty z okolí sice klesá, ale přesto přetrvává a poměrně snadno se lze ze spánku vracet do stavu vědomí, nikdy tedy nedochází k totální nevnímavosti okolí.

Během spánku se lidem většinou zdají sny; při kterých mozek intenzivně pracuje. Spánek nám zabere přibližně třetinu života. Rušení nebo neumožnění spánku vede k psychickým potížím. Délka spánku je u člověka je individuální. Obecně se uvádí 7–8 hodin, ale někteří jedinci mají potřebu spánku odlišnou. V této kapitole bylo využito zdrojů [6],[13],[14]

2.1 Význam spánku

Je vysoce pravděpodobné, že spánek má funkční význam, neboť se nepřetržitě udržuje v evoluční řadě savců, ptáků a možná i u nižších forem živočichů. Jeho nedostatek způsobuje zhoršení všech funkcí organismu.

Střádání metabolické energie

Představa o tom, že spánek konzervuje energii, byla podpořena několika studiemi, které prokázaly zvýšený příjem jídla v průběhu spánkové deprivace. Metabolismus ve spánku je snížen oproti bdění pouze o 15 %. Představě o tom, že spánek usnadňuje zotavení, by odpovídal sklon ke dlouhému spánku malých savců s vysokou spotřebou energie (nezbytné pro udržení termoregulace), ale s malými energetickými rezervami. Nicméně energetické zotavení je možné i při bdění, ale odpočinek bez spánku nedokáže zamezit ospalosti.

Význam spánku pro kognitivní funkce

Fyziologické funkce člověka nejsou narušeny ani po několika dnech spánkové deprivace, zato evidentní je snížení intelektového výkonu. Toto zjištění vedlo k hypotéze o ochranné úloze spánku člověka ve vztahu k vyšším duševním funkcím.

Úloha spánku při termoregulaci

Spánek má termoregulační funkci. V průběhu spánku je obvykle teplota těla a mozku snížena. Zahřátí hypotalamu pokusných zvířat u nich vyvolává spánek. Pokud má člověk před ulehnutím ke spánku vyšší teplotu těla, bylo prokázáno i delší část spánku (3. a 4. stadium NREM) vykazující delta vlny. Tato fakta naznačují, že funkcí spánku je ochlazování.

Fyziologie spánku

Spánek je tedy stav charakterizovaný:

- Stereotypní polohou těla.
- Minimálním pohybem.
- Sníženou reaktivitou na vnější podněty.
- Sníženou tělesnou teplotou.
- Relativně snadnou reverzibilitou (možností probuzení – na rozdíl od kómatu nebo hibernace).

Typická celková doba spánku za jeden den je u různých druhů živočichů velmi odlišná, od přibližně 2 hodin až po 20 hodin. Spánek u lidí a mnoha dalších savců je načasován především na noční dobu, nicméně některé druhy savců spí ve dne za světla. Celková doba spánku se od narození rychle zkracuje od 17–18 hodin po porodu k 10–12 hodinám ve věku 4 let a dále pozvolněji k celkem stabilní době 7–8,5 hodiny ve věku 20 let. Krátké 3–4 hodinové intervaly spánku novorozence se střídají s krátkými intervaly krmení a jsou postupně nahrazovány plynulejším spánkem. Ve věku 4 let je již spánek spojen v jedné dlouhé noční periodě, ale stále s několika kratšími usnutími během dne. Dospělí lidé zpravidla spí jednou denně. Výjimkou jsou například někteří vrcholoví sportovci, kteří spí dvakrát denně, aby tak podpořili celkovou regeneraci organismu. Někteří lidé se dokážou probudit každý den přesně v určenou hodinu, aniž by používali budík.

Lidé spí v poloze vleže se zavřenýma očima. Bylo zjištěno, že člověk spící vsedě nikdy neupadne do nejhlubšího spánku a tudíž si dobře neodpočine.

Spánek může být popisován z více oblastí. Rozlišujeme oblast behaviorální, polysomnografickou a neurofyziologickou. Definice vycházející z oblasti behaviorální, popisuje spánek jako stav klidu za minimální pohybové aktivity s omezenou reakcí na podněty. Polysomnografická oblast rozděluje spánek na stadia. Oblast neurofyziologická, popisuje děje odehrávající se v mozku.

2.2 Polysomnografická oblast

Nejlepší podklad pro pochopení vyšetřovacích metod poruch spánku a neurologických onemocnění, nám dává popis spánku v polysomnografické oblasti.

2.2.1 Fáze spánku

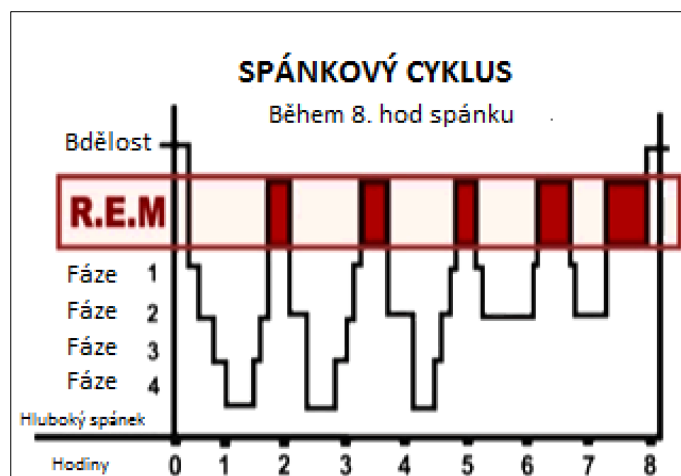
Spánek má několik fází, z nichž nejdůležitější je tzv. REM fáze, při které dochází pod zavřenými víčky k rychlému pohybu očních bulvy. Tato fáze je charakterizována přítomností snů. REM fáze spánku je navozována částí zadního mozku- *Varolovým mostem*. REM fáze (a tedy i sny) byla prokázána u všech druhů savců, nicméně u každého jinak.

Druhou hlavní fází je spánek NREM, který se dále dělí na čtyři stadia podle hloubky spánku. REM fáze slouží především k duševní relaxaci, NREM fáze spíše k relaxaci svalstva.

V průběhu spánku (obr. č. 1) se fáze REM a NREM cyklicky střídají. Spánek dospělého člověka obvykle začíná postupným střídáním stadií NREM od prvního do čtvrtého. Tento postup je občas přerušen tělesnými pohyby a částečným probuzením. Asi po 70 až 80 minutách se spící obvykle krátce vrací do třetího nebo druhého stadia a následuje první fáze REM, která trvá asi 5-10 minut. Délka celého cyklu, od začátku prvního stadia NREM až po ukončení první fáze REM je asi 90–110 minut. V

typických případech se tento cyklus opakuje čtyřikrát až šestkrát za noc a v každém následujícím cyklu se třetí a čtvrté stadium NREM zkracuje, zatímco narůstá délka fáze REM.

Přesný průběh spánkového cyklu je u každého jedince odlišný a mění se s věkem. U novorozenců tvoří fáze REM 50 % celkové doby spánku a v několika ohledech se výrazně liší od spánku dospělého jedince.



Obrázek 1 Spánkový cyklus. Převzato a upraveno z [19]

Podíl spánku REM na celkové době spánku se rychle snižuje přibližně do věku 4 let, kdy tvoří okolo 20–25% a zůstává v tomto množství po celý mladší věk dospělosti. Ve vyšším věku REM postupně klesá k 15–20%. U mladých dospělých osob tvoří fáze REM 20–25% celkového množství spánku, třetí a čtvrté stadium NREM asi 15–20% a první stadium NREM asi 5%. Největší část spánku probíhá ve druhém stadiu, a to okolo 50–60%.

2.2.1.1 Usínání

Usínání (hypnagogium) je přechodný stav mezi bdělostí a spánkem. Přejed z bdělého do spánkového stavu probíhá vždy podobně, i když rozdílným tempem. Nejprve se objevují výrazné tělesné pohyby a změny polohy těla. Poté následuje prohloubené dýchání a pomalé zavírání očí. V tomto stadiu se občas objevují výrazné svalové křeče provázené škubnutím celého těla, které mohou vést ke krátkému přechodnému probuzení. Křeče jsou nejspíše vyvolávány motorickými impulsy z nižších mozkových center, což je projevem nervových procesů reagujících na přechody k další etapě spánku. Při usínání se postupně snižuje svalové napětí, krevní tlak i tepová frekvence. Během usínání má člověk sklon k těkavým myšlenkám a polosnům, snadno podléhá smyslovým klamům, na které může zareagovat škubnutím těla a následným probuzením. Objevují se také specifické pseudohalucinace – pokud člověk vykonával nějakou zdlouhavou jednotvárnou činnost (psaní na stroji, zakládání listů, počítačová hra apod.), útržky této činnosti se mu stále míhají před očima.

2.2.1.2 NREM fáze spánku

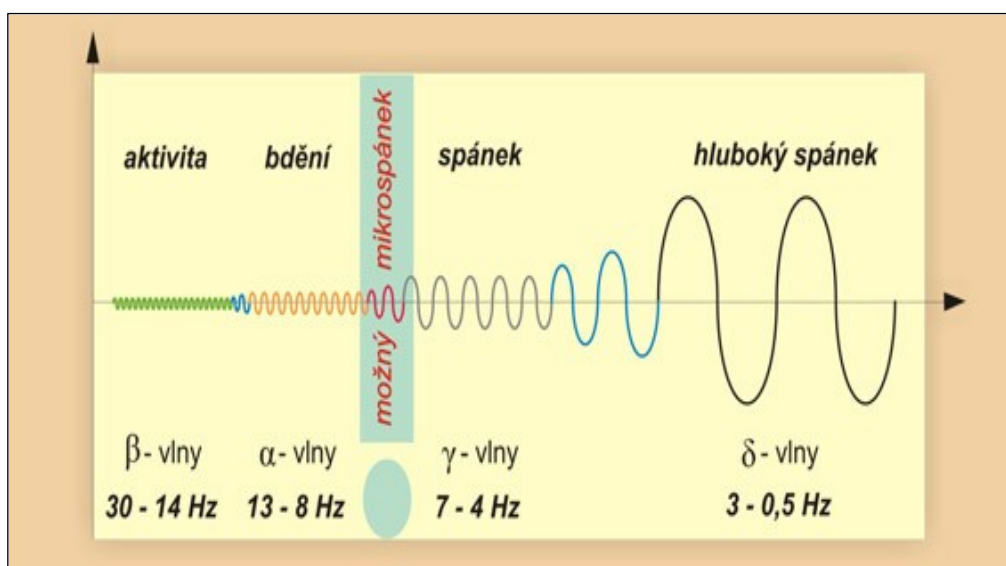
Tato fáze je fyzicky regenerující, protože zjedná optimální podmínky pro syntézu základních proteinů. NREM spánek vyrovnává úbytek tělesných sil. V průběhu NREM spánku je aktivita neuronů celkově nízká, a to se odráží v nízké úrovni metabolismu a nízké teplotě mozku.

Jednotlivé fáze NREM spánku lze dobře rozlišit pomocí záznamu EEG, kdy jsou snímány charakteristické frekvence pro jednotlivé vlny. Přehled vln a jejich frekvence, je uveden v tabulce č. 1.

Tabulka 1 Vlny mozkové aktivity a jejich frekvenční rozmezí

Název vlny	Frekvenční rozmezí [Hz]
Alfa (α)	14-30
Beta (β)	8-13
Gamma (γ)	4-7
Delta (δ)	0.5-3

Přechod z bdění do spánku NREM je charakteristický postupně se zpomalující frekvencí a prokazatelným záznamem elektroencefalografu. Podrobnější analýza průběhu EEG vln napovídá, že NREM fáze sestává ze čtyř stadií o různé hloubce spánku. Jednotlivé fáze jsou zobrazeny také na obrázku č. 2.



Obrázek 2 Typické vlny a jejich frekvenční rozmezí. Převzato z [14]

1. stadium: trvá pouze několik minut a je přechodem od bdění k začátku spánku. Vlny se stávají nepravidelnými a jejich amplituda se snižuje. V průběhu tohoto stádia lze zaznamenat pomalé valivé pohyby očí a v EEG vlny s nízkou voltáží a smíšenou frekvencí. V tomto stadiu a v průběhu celé fáze NREM je patrná určitá aktivita kosterního svalstva, ale nikoliv rychlé pohyby očí, které jsou charakteristické pro REM fázi.

2. stadium: vyskytují se spánková vřeténka, jedná se o krátké úseky rytmických vln s frekvencí 12–16 Hz. Jejich amplituda v průběhu celého EEG náhle klesá a narůstá (K-komplex).

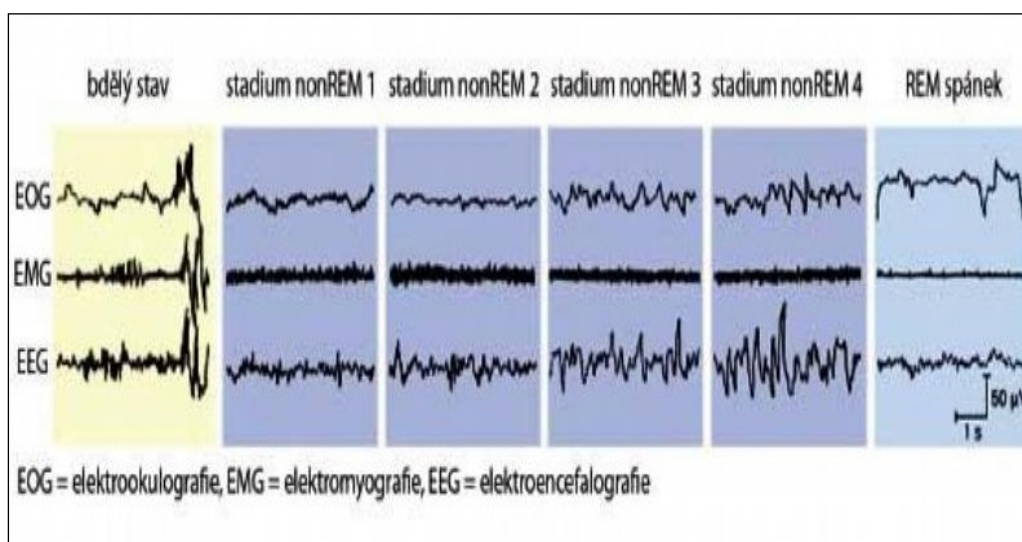
3. stadium: objevují se pomalé vlny o frekvenci 1–2 Hz, které se označují jako vlny delta, a představují asi 20–50 % všech vln. V této fázi už je člověka obtížné probudit např. hlukem, ale stále je možné jej vzbudit např. voláním jeho jména nebo dětským pláčem.

4. stadium: delta vlny tvoří více než 50% všech vln, jedná se o velmi hluboký spánek. Stadia 3 a 4 se někdy nazývají u člověka hluboký NREM spánek nebo delta spánek.

2.2.1.3 REM fáze spánku

REM fáze dodává sílu, znovuobnovuje a restauruje naše psychické procesy (myšlení, uvažování, rozhodování, představování), které jsou unaveny bdělým životem. Konsoliduje a zpevňuje nejen paměť, ale i ostatní poznávací schopnosti. V průběhu REM stadia dochází k náhlému výskytu očních pohybů, jež trvají 10–20 sekund.

V průběhu REM spánku je člověk téměř strnulý, ušetřen je pouze srdeční sval, bránice, okohybné svaly a hladké svalstvo. Na obr. č.3 lze vidět polysomnografický záznam (zjednodušený výňatek) během jednotlivých stádií spánku a stavu bdění.



Obrázek 3 Polysomnogram, zjednodušené zobrazení. Převzato z [8]

Při REM fázi začne člověk těžce a nepravidelně dýchat. Jeho srdeční frekvence se zvyšuje na hodnoty, které odpovídají bdělému stavu. Probudit člověka v REM fázi je obtížnější než v ostatních spánkových stádiích. Dochází k úbytku svalového napětí, což je patrné v uvolnění obličeje spícího. Změny průtoku krve vyvolávají u mužů erekci a u žen prokrvení vaginální oblasti. Autonomní nervový systém se projevuje značnými nepravidelnostmi v pulsu, dýchání a hodnotách krevního tlaku. Mozek má zvýšenou spotřebu kyslíku, což ukazuje na regenerativní funkci spánku pro centrální nervovou soustavu. Překvapivé bylo zjištění, že náhlé pohyby, kterými spící jedinec mění svou polohu, se objevují zpravidla těsně před nebo těsně po REM fázi spánku.

Sny v REM fázi jsou mimořádně živé a mohou mít bizarní a nelogický charakter. O REM fázi spánku je prokázáno, že je fyziologicky podstatou snové činnosti, a někdy bývá nazývána také D-stav (od anglického slova dream-sen).

Když byli při pokusu dobrovolníci probuzeni v NREM fázi spánku, tak uvedli sny jen ve 20 %, což je ve srovnání s velkým počtem snů v REM fázi velmi málo. Je prokázáno, že sny v NREM fázi jsou podstatně kratší, obsahují méně vizuálních prvků a zdaleka nejsou tak živé jako sny, které jsou doprovázené rychlými očními pohyby. Dobrovolníci uváděli, že při NREM fázi měli dojem, že spíše myslí, než sní. A to je zásadní rozdíl mezi sny z těchto fází. Je-li člověk probuzen v REM fázi, průměrně v 88 % potvrdí, že se mu právě zdál sen, a celkem bez problémů je tento sen schopný vyprávět. Toto vysoké procento dokazuje, že během REM fáze se skutečně zdají sny.

Perioda REM spánku se u zdravého člověka objevuje nejméně třikrát za noc, což znamená, že během jednoho roku bychom měli mít v průměru nejméně jeden tisíc snů. Valnou část z nich zapomeneme těsně po probuzení a pravděpodobně ještě větší část si vůbec neuvědomíme, jelikož se nám zdají během souvislého spaní v noci. Abychom měli alespoň nějakou naději, že si sen zapamatujeme, musíme se ze spánku probudit a chvíli zůstat vzhůru. Jelikož teprve bdělé vědomí může uložit vzpomínku na sen a uchovat paměťovou stopu. A právě proto si pamatujeme nejčastěji ranní sny. Vzpomínka na sen je velmi prchavá, což možná souvisí s jejími nelogickými kvalitami, které znesnadňují pamatování. Existují však sny, které si pamatujeme léta.

Srovnáním spánku REM a NREM vedlo k tomu, že někteří vědci přestali REM stadium považovat za spánek a označují ho spíše za třetí stav existence mimo stav bdění a NREM spánku, někdy označovaný jako paradoxní spánek.

2.2.1.4 Probouzení

Probouzení (hypnagogium) je návrat ze spánku do stavu bdělosti. V mnohém se podobá fázi usínání, ale zpravidla probíhá mnohem rychleji. U někoho však může delší dobu přetrvávat stav podobný náměsíčnosti, člověk vykonává činnost, aniž by si to později pamatoval.

3. PATOFYZIOLOGIE SPÁNKU

Poruchami spánku se zabývá oborhypnopathologie. Spánková deprivace byl v minulosti často používaným druhem mučení. Způsobuje ospalost, nemožnost soustředění a halucinace. Poruchy spánkového rytmu mohou mít mnoho příčin, jedna z příčin je například pohyb mezi časovými pásmy, kdy je normální spánkový režim narušen a postižený například spí přes den a je čilý v noci, přizpůsobení novému spánkovému rytmu v jiném časovém pásmu může trvat až několik dní. Souhrnné označení pro poruchy, které se týkají množství, kvality, nebo časování spánku se nazývá dyssomnie.

Pro tuto diplomovou práci je důležité popsat vybrané neurologické a psychické onemocnění s projevy pohybu končetin ve spánku, nebo přímo spánkové poruchy. Vybraná onemocnění, poruchy jsou vždy krátce vysvětlena a jsou popsány hlavně její projevy, které bychom měli být schopni detekovat. Pro tuto kapitulu bylo převážně čerpáno ze zdrojů [2],[4],[8],

3.1 Poruchy projevující se délkou spánku

Insomnie

Insomnie, česky nespavost patří k velmi častým zdravotním problémům současné populace. Způsobuje, že jedinec nemůže usnout nebo se ve spánku často probouzí. Nedá se jednoznačně říct, že lidé, kteří málo spí, trpí insomnií, jsou jedinci, kteří spí velmi krátkou dobu a jsou přesto odpočatí a cítí se dobře. Místo toho jedinci, kteří trpí nespavostí psychicky a fyzicky velmi strádají a jejich potíže se spánkem se podepisují na jejich celkovém zdraví. Hlavní příčinou je stres, dále nedostatek pohybu a nesprávné užívání léků. Nespavost může být doprovodným symptomem tělesných nebo duševních poruch, ale stejně tak můžeme hovořit o nespavosti jako o primárním onemocnění.

Hypersomnie

Hypersomnie je patologicky zvýšená spavost. Jedinec spí denně 12 hodin i více a často upadá do spánku i během dne. Do této skupiny poruch spánku patří narkolepsie s kataplexií, nebo bez kataplexie. Pro narkolepsii je charakteristická zvýšená denní spavost s náhlým usnutím během dne a nekvalitním spánkem během noci. Narkolepsie je podmíněna geneticky. Kataplexie, která toto onemocnění může doprovázet, se definuje jako náhlá symetrická ztráta svalového napětí během bdělého stavu. Ve vážných případech dojde ke ztrátě svalového napětí v celém kosterním svalstvu kromě svalů dýchacích. Obvykle se však jedná o lehčí formy, kdy dojde k podlomení v kolenou, upuštění drobných předmětů z ruky, ztrátě schopnosti artikulovat, změně mimiky obličeje či pocitu zeslábnutí. Vědomí jedince není porušeno. Kataplexie trvá několik desítek vteřin a vzniká na podkladě náhlých pozitivních i negativních emocí, při smíchu a po překvapení. Dále mohou být během tohoto onemocnění přítomny hypnagogické halucinace a spánková obrna. Hypnagogické halucinace jsou nepravé halucinace, které se vyskytují při usínání, kdy se uvolní snový automatismus, i když člověk ještě nespí, většinou se jedná o halucinace zrakové a sluchové. Spánkovou obrnou bývá postiženo celé tělo kromě dýchacích svalů, končí samovolně nebo po dotyku a oslovení jinou osobou.

Poruchy cirkadiánního rytmu

Do této skupiny patří poruchy, které jsou charakterizovány porušením rytmu spánku a bdění. Jedinec má potřebu spát či bdít v jiných denních hodinách, než je obvyklé. Tyto poruchy vznikají následkem desynchronizace mezi takzvanými vnitřními hodinami a vnějším rytmem, který udává den a noc. Bývá narušena kvantita i kvalita spánku. Patří zde syndrom předsunuté fáze spánku, která je typická pro starší osoby, kdy nastává brzké usínání a v důsledku i časně probuzení, syndrom posunuté fáze spánku, nepravidelný rytmus spánek/bdění, jet-lag syndrom a onemocnění ze směnného režimu.

Rytmus spánku a bdění bývá také narušen u osob s demencí. Spánek je přerušovaný, nedostatek spánku v noci bývá nahrazován denním spánkem. Jedná se o inverzi spánku, což znamená nespavost přes noc a ospalost přes den. Syndrom posunuté fáze se vyskytuje spíše u mladých lidí. Projevuje se usínáním pozdě večer, ale také pozdním vstáváním. Podaří-li se jedinci vstát v časných ranních hodinách, trpí pak během dne nedostatkem spánku. Osob pracujících na směny se týká porucha spánku ze směnného provozu, kdy v době kdy je fyziologické jít spát, musí bdít a za toho stavu jsou pak ospalí. Doplňujícím příznakem pak mohou být psychosomatické potíže.

Deprese

Je velmi závažný a život ohrožující stav, který se projevuje výkyvy nálad a dlouhodobějším poklesem psychické pohody a stavu mysli. V psychiatrických manuálech je deprese uváděna jako závažná duševní porucha. Obvykle je popisována jako samostatná nemoc, ale může být také projevem jiných onemocnění jako je Addisonova choroba a Parkinsonova nemoc.



Obrázek 4 Člověk postižený depresí [20]

Deprese je stav trvající déle než 6 měsíců. Obvykle je léčena antidepresivy, avšak ne vždy je léčba účinná a nezřídka je deprese nemoc regresivní a zdlouhavá. Nemocný často pociťuje pocity jako je úzkost, osamocení, opuštěnost, pocity viny bez vážného důvodu, pocity bezcennosti a zmaru. Pro depresi je charakteristická dlouhodobě zhoršená nálada, pocity beznaděje a bezvýchodnosti. Jedinec se přestává zajímat o dřívější příjemné aktivity a přestává z nich mít potěšení – například ztrácí zájem o své koníčky, záliby, ale také i o základní biologické potřeby jako je radost z jídla, partnerský sex, spánek a jiné.

Deprese se dělí do těchto epizod:

- **Lehká** - člověk se musí do každé činnosti nutit, uzavírá se do sebe, nemá z ničeho radost, ale základní věci zvládá udělat – v domácnosti i v práci.
- **Středně těžká** - dotyčný je nešťastný, nedokáže pracovat a nic ho nebaví.
- **Těžká** - postižený se o sebe nedokáže postarat, zanedbává osobní hygienu, dívá se na televizi (i když ho to nebaví), bez hlubšího zaujetí dělá nenáročné věci např. na počítači, ale moc toho nezvládne či je činnost povrchní, nebo leží v posteli a zabývá se svými chmurnými myšlenkami.
- **Těžká s psychotickými příznaky** – příznaky jsou stejné jako u těžké depresivní epizody, přidružují se však vidiny, nebo bludy.

Ne vždy se u člověka postiženého depresí projeví všechny její známky. Někdy se mohou nemocní lidé chovat zcela rozdílně, a přesto se u nich diagnóza deprese stanoví.

Kromě chybějícího potěšení z odpočinku a spánku dochází ke změně spánkového režimu, jedinec zpravidla hůře usíná a brzy se budí, ale může spát i více než je obvyklé – třeba i skoro celý den, ale zároveň se necítí odpočatý a spánek nepřináší příjemné pocity regenerace. Člověk například nemůže dlouho usnout a jde spát až v 6 hodin ráno. I když dotyčný spí 12 hodin, nenačerpá energii, ale naopak cítí slabost. Dále dochází k poruchám koncentrace, nemožnosti se soustředit na práci, na četbu. Nedostavuje se prožitek z aktivit. Charakteristická je i ztráta energie. Dotyčný cítí, jako by v celém těle žádnou neměl, cítí se velmi slabý. Nemá sílu udělat i tu nejméně náročnou činnost. Pouze 10-15% nemocných má spánkový rytmus neporušený, jedná se ovšem o převážně mladé jedince.

3.2 Poruchy projevující se parasomnií

Parasomnie je souhrnné označení pro nepřirozené stavy, které doprovázejí spánek nebo jsou na něj vázány - objevují se v jeho průběhu nebo při probuzení. Do této skupiny patří například náměsíčnost, noční děsy, noční můry, spánková opilost, enuréza, halucinace.

Noční můra

Noční můry jsou děsivé, živé sny během REM spánku. Po probuzení si postižený noční můru jasně pamatuje. Vyskytují se obvykle u dětí a dospělých, kteří prožili nějaké trauma. Závažným, ale poměrně vzácným typem noční můry je REM spánková porucha chování (RBD), při níž spící nemá během REM fáze ochablé kosterní svalstvo, takže během spánku „zápasí“ se svou noční můrou a může tak zranit sebe nebo spolunocležníka. Osoba probraná z noční můry, je úzkostná, avšak snadno utižitelná. Lze s ní navázat kontakt. Noční můry může také vyvolat vysazení léčiv, jako jsou antidepresiva a hypnotika.

Noční děs

Noční děs je krátký děsivý sen, který postihuje spícího během NREM spánku. Z toho důvodu jej zřídka probudí. Po probuzení upadá člověk ihned znovu do spánku, takže si děsivý sen ráno nepamatuje. Velmi častý je u dětí. Během nočního blesu není možnost s osobou navázat kontakt.

Somnambulismus

Somnambulismus je spánková porucha, při níž postižený během spánku vstane z postele a prochází se. Někdy může vykonávat i poměrně složité činnosti, například odeslat SMS zprávu. Náměsíčníci se nemají budit, ale mají být odvedeni zpět do postele. K náměsíčnosti zpravidla dochází během NREM spánku (3 nebo 4 stadium). Náměsíčnost se často objevuje v dětství a u dospělých v období stresu nebo úzkosti, příčinou často bývá i nepravidelný spánkový režim. Výskyt náměsíčnosti často ovlivňuje i pití alkoholu, práce na směnný provoz, migréna či epilepsie.

3.3 Poruchy projevující se pohyby končetin ve spánku

Syndrom neklidných nohou

Syndrom neklidných nohou je zařazován mezi senzomotorická neurologická onemocnění, u kterých je typické nutkání pohybovat zejména dolními končetinami. Přítomny jsou i různé parestezie. Nutkání k pohybu vzniká u jedinců, zejména když jsou v klidu, největší intenzity dosahuje ve večerních a nočních hodinách. Při pohybu jsou příznaky tlumeny. Syndrom neklidných nohou se dělí do dvou skupin, a sice na takzvané idiopatické a sekundární. Primární má zhruba z 50% rodinný výskyt, dle vzniku se dělí na syndrom neklidných nohou s časným a pozdním vznikem. Sekundární syndrom neklidných nohou vzniká následkem nedostatku železa, při terminálním stadiu selhání ledvin, při polyneuropatii a Parkinsonově chorobě.

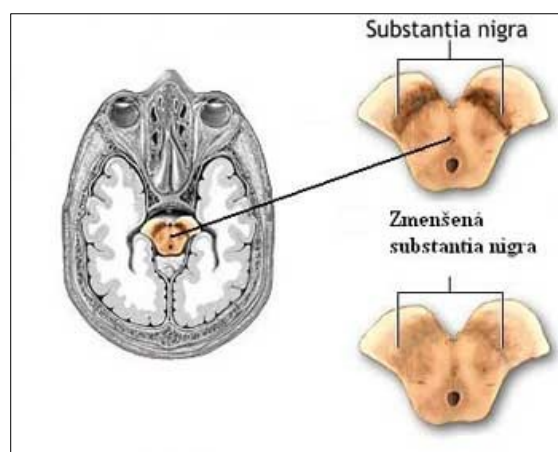
Periodické pohyby končetinami

K těmto pohybům může docházet během spánku i bdění. Jedná se o mimovolní pohyby, které jsou stereotypní a mají periodu opakování. Dochází k aktivizaci svalů, zejména dolních končetin. Jedná se o chorobný stav, jehož hlavním příznakem je nutkání pohybovat dolními končetinami - zejména večer, po ulehnutí. Postižený cítí mravenčení nebo brnění v oblasti dolních končetin. Tyto nepříjemné pocity jej nutí pohybovat nohama - jedná se o pomalé protahovací pohyby, které částečně zmírňují nepříjemný pocit z dolních končetin.

Parkinsonova choroba

Parkinsonova choroba je chronické progresivní neurodegenerativní onemocnění s pozvolným nástupem, charakterizované přítomností převážně motorické symptomologie, jako je bradykineze, tremor, rigidita a porucha posturálních funkcí. K nemotorickým příznakům řadíme například hyposomnii, poruchy spánku, změny osobnosti, ortostatickou hypotenzi, depresi, váhový úbytek, gastrointestinální dysfunkci, poruchy močového měchýře a jiné poruchy.

Tato choroba je význačná úbytkem nervových buněk v části mozku nazvané substantia nigra. V tomto místě za normálního stavu buňky produkují dopamin, což je neurotransmiter (přenašeč), který zajišťuje přenos signálů mezi neurony. Nedostatek dopaminu způsobuje, že pacient postupně není schopen ovládat nebo kontrolovat svůj pohyb. Díky úbytku dopaminu je komunikace v bazálních gangliích zhoršena. Tyto ganglia se podílí především na regulaci hybnosti a nedostatek transmitteru způsobí poruchy s hybností spojené. Úbytek dopaminu je s věkem fyziologický, ale nikdy není tak rozsáhlý jako u Parkinsonovy choroby. Choroba má preklinické stadium, které se odhaduje zhruba na období 3-5 let. V tomto časovém období seneobjevují žádné symptomy, dochází ovšem k úbytku počtu dopaminergních buněk. Jakmile dojde k takovému úbytku, že zbyde pouze 20% těchto buněk, začnou se



Obrázek 6 Úbytek nervových buněk v místě substantia nigra. Převzato z[21]

projevovat první klinické příznaky. Dopamin lze různými způsoby nahradit, nikdy ne však tak aby potíže zcela vymizely.

Třes, neboli tremor je typickým a nejviditelnějším příznakem Parkinsonovy choroby. Obecně je definován jako mimovolní, rytmický a kontinuální svalový pohyb o periodických oscilacích. Tento třes je považován za nejčastější počáteční příznak, objevující se přibližně z 70% pacientů. Charakteristicky u Parkinsonovy choroby jde o třes klidový, asymetrický, o pomalé frekvenci přibližně 5 Hz, převážně vakrálních oblastech končetin. Třes se zpravidla objevuje na jedné polovině těla. Příznaky se zhoršují při stresu, zátěži, nebo při únavě, tohoto se využívá při diagnostice v raných fázích onemocnění

Bradykineze je kardiální příznak Parkinsonovy choroby, který pacienta funkčně nejvíce omezuje. Její prevalence se blíží téměř k 100%. Způsobuje zpomalení všech běžných činností. Hypokinze, což znamená pro postiženého snížení rozsahu pohybu a akineze neboli neschopnost započít pohyb. Příznaky se objevují asymetricky v distálních oblastech končetin, podobně jako třes. S rozvojem nemoci se obtíže zhoršují a začínají ovlivňovat i chůzi a postoj.

Zpomalenost, chudost a omezení rozsahu pohybů ovlivňuje také obličejovou mimiku. Pacient má maskovitý obličej, málo mrká, mluva je tišší a stává se monotónní, zmenšuje se písmo a to hlavně na konci vět. Typická je i porucha chůze, kdy jedinec nehýbe při pohybu horní polovinou těla, tento jev nazýváme synkize.

Často se vyskytujícím problémem u nemocných s Parkinsonovou chorobou jsou poruchy spánku. Vyskytují se až u 96 % nemocných. Jsou různorodé a často je zapříčiňují medikace. Především vysoké dávky antiparkinsonik mají za následek živé barevné sny a noční můry. Za premotorický příznak je považovaná porucha REM spánku. Projevem je přehnané prožívání snů, porucha kontinuity spánku a nebezpečné chování ve spánku, které může mít za následek křik, kopání, pád z postele či zranění partnera. V pozdějších stádiích onemocnění je typická insomnie různého typu. Důvodem insomnie může být také deprese.

Epilepsie

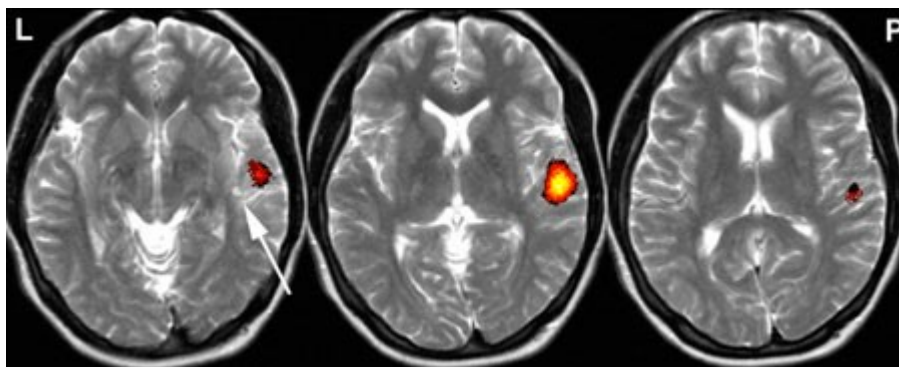
Epilepsie je dnes velmi častým onemocněním, jde o chronické neurologické onemocnění, charakterizované opakovanými záchvaty různého klinického obrazu a abnormálními výboji mozkových neuronů. Epilepsie se může objevit v každém věku, nejčastěji začíná v časném dětství a ve stáří. Během života je pravděpodobnost, že člověk prodělá epileptický záchvat kolem 9% a 3%. V každém věkovém období se uplatňují jiné příčiny. V dětství jde nejčastěji o vrozené genetické dispozice. U dospělých je častěji podkladem nádor, stavy po cévních mozkových příhodách, alkoholismus. Příčinou může být zánět mozku virový či bakteriální. Záchvaty se mohou objevit v akutním stadiu či po delší době jako pozdní následek.



Obrázek 7 „Epileptický výboj“. Převzato z [21]

Epileptický záchvat je důsledkem abnormálních výbojů nervových buněk v mozku. Tvorba a vedení elektrických výbojů je klíčovou vlastností normálních nervových buněk. „Epileptické“ buňky jsou však zvýšeně dráždivé a mohou vytvářet výboje nekontrolovaně. Dostatečně velká skupina těchto buněk dokáže vytvořit výboj dostatečné intenzity, který se dále šíří a vyvolává záchvat.

Každý nemocný, který byl postižen epileptickým záchvatem, by měl být vyšetřen neurologem. Abnormální epileptické výboje generované mozkovou kůrou lze většinou identifikovat pomocí elektroencefalografického vyšetření, ale také by měl být vyšetřen pomocí počítačové tomografie nebo magnetické rezonance.



Obrázek 8 Patologické ložisko epilepsie, snímek z MRI. Převzato z [23]

Epileptické záchvaty mohou mít velmi rozmanitý klinický obraz v závislosti na tom, kterou část mozkové kůry patologické výboje postihují. Pokud epileptický záchvat postihne jen část mozkové kůry, pak se většinou neprojevuje poruchou vědomí. V takovém případě se mohou vyskytnout hybné projevy zrakové, sluchové nebo psychické projevy, aniž by při nich pacient ztrácel vědomí. Takový typ záchvatu nazýváme záchvatem parciálním s elementární symptomatologií.

Začíná-li epileptický záchvat v oblastech, které mají četné spoje s určitými podkorovými strukturami, pak se záchvat projeví „zákalem vědomí“, zahleděním a neúčelnými pohyby končetin, které nazýváme pohybovými automatismy. Nemocný různě manipuluje s předměty, poposedá, odchází, často pomlaskává, polyká apod. Tento typ záchvatu nazýváme „záchvat psychomotorický“, nebo nověji parciální záchvat s komplexní symptomatologií.

Pokud se epileptická aktivita rozšíří na většinu mozku anebo již od počátku postihuje rozsáhlé mozkové oblasti, pak se epileptický záchvat projevuje zpravidla poruchou vědomí. Velké epileptické záchvaty se často projevují náhlou ztrátou vědomí, pádem na zem a generalizovanými tonicko-klonickými křečemi. Dalším typem jsou tzv. záchvaty myoklonické s prudkými nepravidelnými záškuby těla, někdy jen horních končetin. Často nemocní „odhodí“ držený předmět, někdy dochází také k podklesnutí dolních končetin s pádem nemocného na zem.

4. DIAGNOSTICKÉ METODY

Při zjišťování spánkových poruch je důležité dbát jak na diagnostické metody (elektroencefalografie, polysomnografie, CT, MRI) tak i na subjektivní potíže pacienta. V této kapitole jsou popsány základy diagnostických metod, detailnější popis a rozbor fyzikální podstaty není nutný pro tuto diplomovou práci. Bylo čerpáno ze zdrojů [3],[7],[16],[17],[24].

4.1 Škály a záznamníky

Pro přehlednost údajů získaných o pacientovi se používá celá škála záznamových metod, jako je například Stanfordská škála spavosti nebo analogová sebe posuzovací stupnice. Velmi často používaná škála je Epworthská škála spavosti (viz. Obr. 7), pomocí které je možno odhalit nadměrnou denní spavost. Hodnotí se body od nuly až po hodnotu tři, pokud součet hodnot je větší než deset, je diagnostikována nadměrná spavost.

Tab. Epworthská škála spavosti

Dřímáte nebo usínáte v situacích popsanych níže? Nejde o pocit únavy. Tato otázka se týká vašeho běžného života v poslední době. Jestliže jste následující situace neprožil, zkuste si představit, jak by vás mohly ovlivnit.

Vyberte v následující škále číslo nejvhodnější odpovědi ke každé níže uvedené situaci.

- 0 – nikdy bych nedřímával, neusínal
- 1 – slabá pravděpodobnost dřímoty, spánku
- 2 – střední pravděpodobnost dřímoty, spánku
- 3 – silná pravděpodobnost dřímoty, spánku

Situace	Číslo odpovědi
Četba vsedě.....
Sledování televize.....
Nečinné sezení na veřejném místě
Při hodinové jízdě v autě jako spolujezdec
Při odpoledním ležení, když to okolnosti dovolují.....
Při hovoru vsedě.....
Vsedě, v klidu, po jídle, bez alkoholu.....
V automobilu stojícím několik minut v dopravní zácpě.....
Součet.....

Johns, 1991; převzato Šonka, 2004

Obrázek 9 Epworthská škála spavosti. Převzato z[24]

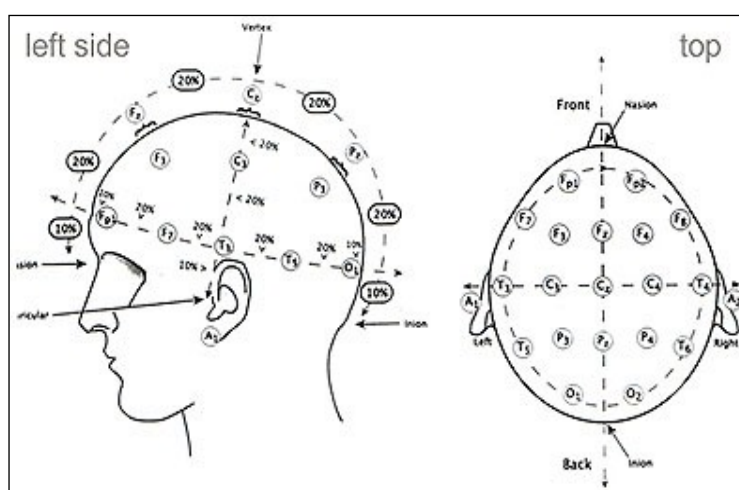
Dále existuje například spánkový diář, kde si pacient zapisuje subjektivní potíže. Spánkový diář slouží k dlouhodobému zaznamenávání. Je potřeba detailně zmapovat spánkové zvyklosti a režim vyšetřované osoby. Obvykle se zapisují informace jako je režim bdění a spánku a jeho případné změny. Zaznamenává se čas ulehnutí, za jak dlouho se spánek dostaví, kolikrát za noc dojde k probuzení, případně co bylo příčinou probuzení, zda je přítomno chrápání, pokud ano, tak jakou má intenzitu a pravidelnost, stejně tak i dýchání a zda se vyskytují apnoické pauzy. Neméně důležité jsou pocity probuzeného po ránu, jak se cítí po ránu, během dne, zda se cítí unavený, ospalý.

4.2 Elektroencefalografie

Pomocí elektroencefalografie (EEG) můžeme snímat elektrické potenciály z mozku. Zkoumáme mozkovou aktivitu, která nám dokáže dát výpovědní informaci o neurologickém stavu pacienta. Záznam této mozkové aktivity nazýváme elektroencefalograf. Informace byly čerpány z [16],[7].

Bioelektrické vzruchy probíhající v mozku snímáme buď to pomocí povrchových elektrod, nebo přímo z mozkové kůry, takové vyšetření potom nazýváme elektrokortikogramem. Při některých operacích mozku může být využito i hloubkových elektrod, takovýto záznam potom nazýváme stereoencefalogram. Metoda elektroencefalografie je založena na schopnosti neuronových buněk vyrábět pravidelné elektrické impulzy. U těchto impulzů hodnotíme zejména amplitudu a frekvenci. Na pořízených záznamových křivkách poprvé popsal základní vlny neurolog a psychiatr Johannes Berger, který publikoval první popis metody již v roce 1929. Od té doby došlo k rozšíření metody a vyhodnocování záznamů a EEG je dnes velmi důležitou diagnostickou metodou. Využití našla k monitorování různých stavů a chorob, jako je například vyzrálost centrální nervové soustavy u dětí, epilepsii, poruchy spánku, kóma a mozková smrt.

V elektroencefalografii jsou již standardně používány argento-chloridové elektrody. Pro rozmístění elektrod (obr.č. 10) na povrchu lebky je standardně používán tzv. systém 10/20. Elektrody umístěné nejvíce vpředu nazýváme prefrontální, za nimi je rozmístěna řada elektrod frontálních, dále následují elektrody centrální, pak parietální a nejvíce vzadu jsou elektrody occipitální. Po stranách umísťujeme elektrody temporální.

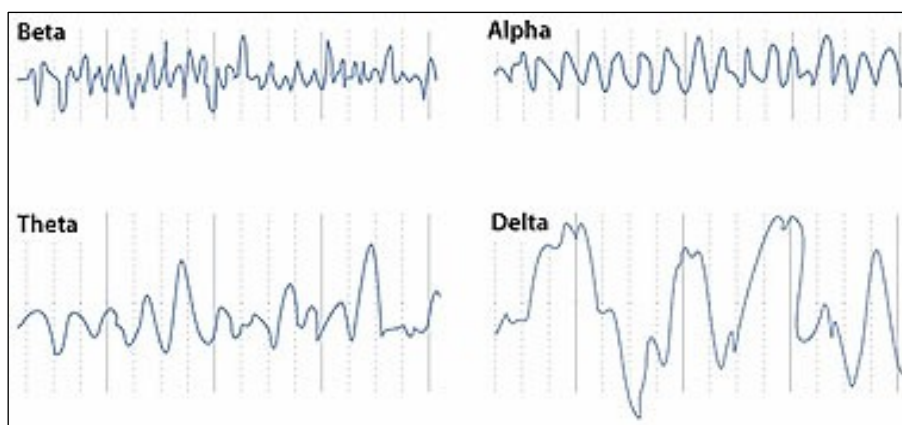


Obrázek 10 Rozmístění elektrod. Převzato z [17]

Klinicky významné jsou frekvenční pásma uvedené v tabulce č. 1. Jsou rozděleny do několika vln. Delta, Theta, Alpha, Beta (obr.č. 12). Jednotlivá pásma jsou typická pro různé činnosti.

Tabulka 2 Aktivita typické pro jednotlivé mozkové vlny

VLNY	AKTIVITA
Delta	Hluboký spánek, v bdělosti patologické
Theta	kreativita, usínání, povrchní spánek
Alpha	Relaxace, zavřené oči
Beta	Koncentrace, logicko-analytické myšlení, neklid



Obrázek 11 Mozkové vlny rozdělené do frekvenčních pásem. Převzato z [16]

Amplituda EEG signálu

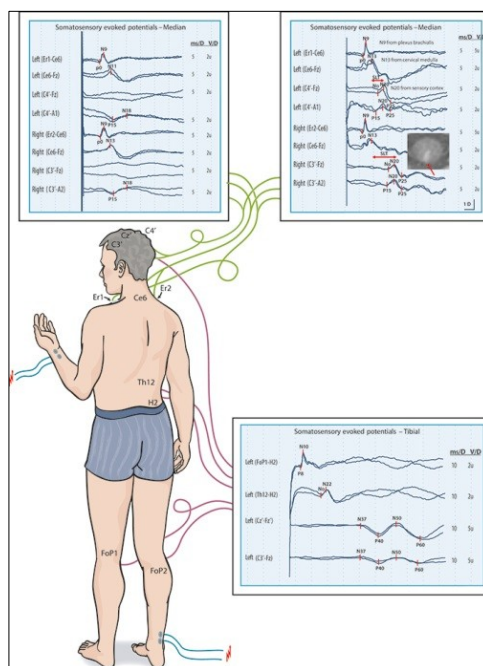
Díky relativní asynchronii akčních potenciálů nervových buněk, vlivem obalů mozku, lebečních kostí a kůže, dává mozek k dispozici pouze slabý elektrický signál. Amplituda EEG signálu závisí na vzdálenosti elektrod a dosahuje obvykle hodnoty kolem 50 μV .

Evokované potenciály

V praxi se velmi často používají evokované, uměle vyvolané odpovědi mozku na vnější podnět z okolí, jedná se tedy o senzorické podněty a to o nejčastěji podnět zrakový, sluchový nebo senzomotorický. Reakce na takovýto vyvolaný podnět je menší než jakou dává mozek při spontánní reakci a je v EEG skryta, proto je evokované potenciály nutno opakovat. Používají se desítky až tisíce stimulů. Pro záznam potenciálu se používají klasické EEG elektrody.

- **Somatosenzorické evokované potenciály**

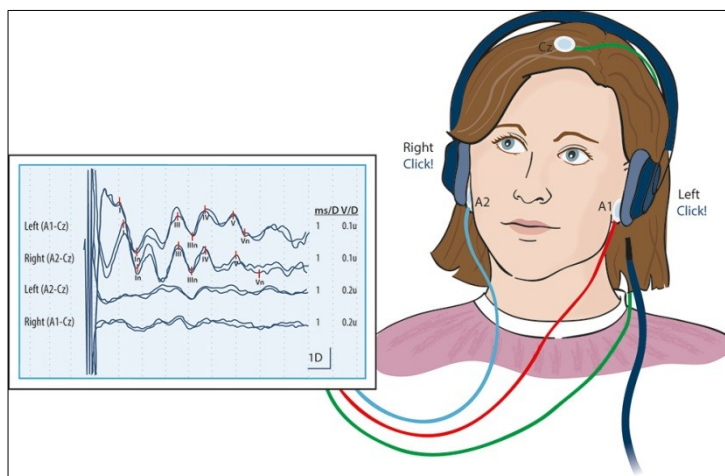
Odpověď mozku na tento druh potenciálu vyvoláváme drážděním receptorových vláken periferních nervů nejčastěji u horních a dolních končetin pomocí neurostimulátoru.



Obrázek 12 Stimulace neurostimulátorem. Převzato z[9]

- **Sluchové evokované potenciály**

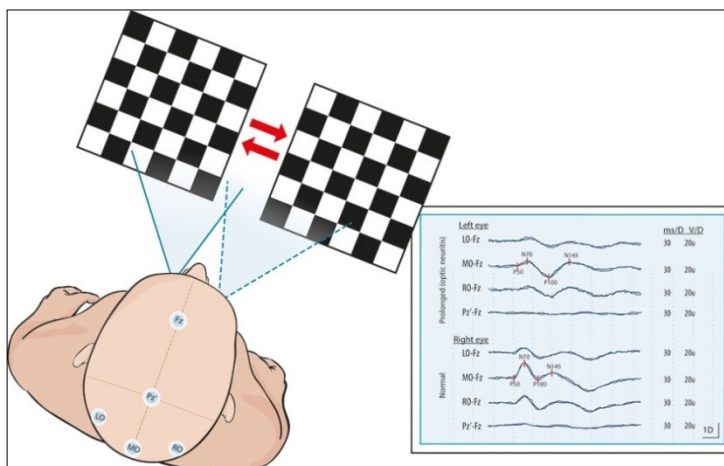
Akustickým impulsem se stimuluje sluchová dráha. Jako impuls se používá zvuk cvakání prostřednictvím sluchátek. Intenzita sluchového podnětu je 50 - 70 dB nad sluchovým prahem. Explorační elektrody se umísťují na ušní lalůčky na processus mastoidei, jako referenční elektroda slouží centrální elektroda.



Obrázek 13 Stimulace pomocí sluchátek. Převzato z[9]

- **Vizuální evokované potenciály**

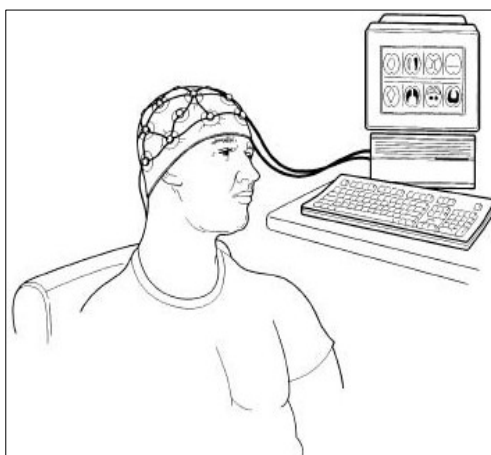
Vizuální evokované potenciály jsou odrazem synchronních akčních potenciálů neuronů zrakové kůry. Jako stimulus se obvykle používá strukturovaný vizuální podnět typu šachovnice, která s frekvencí zhruba 2 Hz mění. Registrační elektrody jsou umístěny okcipitálně s referenční elektrodou umístěnou frontálně.



Obrázek 14 Stimulace pomocí reverzibilní šachovnice. Převzato z[9]

Průběh vyšetření

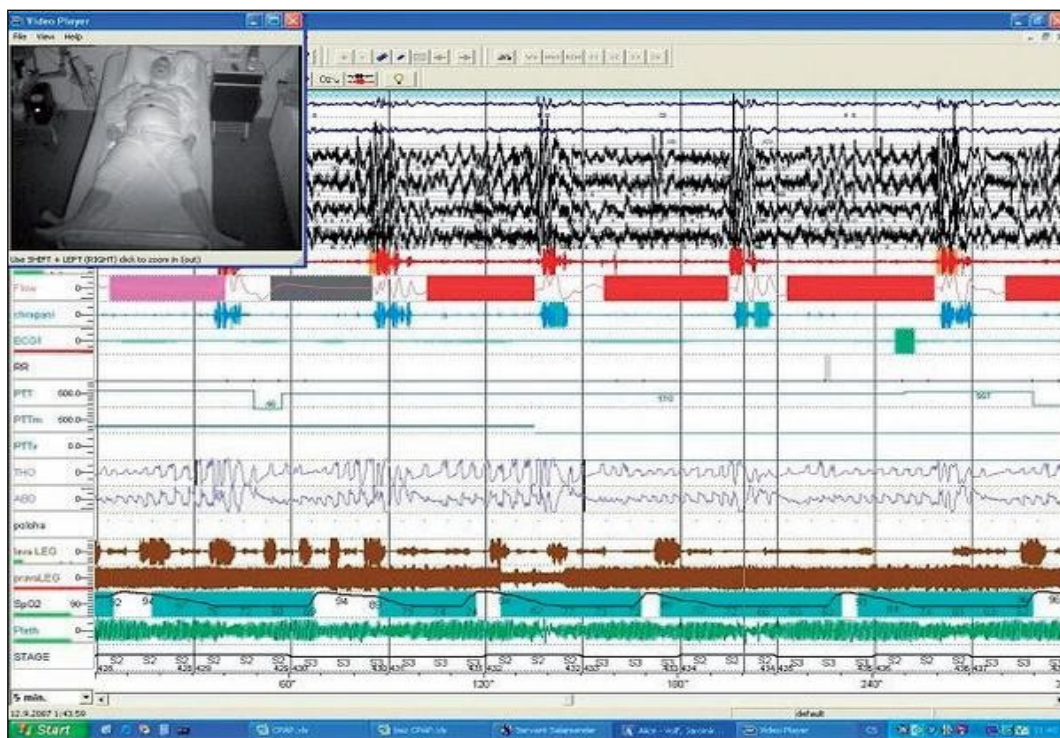
Pacientovi je nasazena čepice se snímacími elektrodami. Na zlepšení kontaktu a snížení impedance je použit vodivý gel. Před zahájením snímání se testuje správné připevnění elektrod. Vyšetření trvá jednu až dvě hodiny.



Obrázek 15 Vyšetření EEG. Převzato z[7]

4.3 Polysomnografie

Polysomnografie je vyšetření pro hodnocení spánku v průběhu celé noci. Přístroj umožňující toto vyšetření se jmenuje polygraf. Pacient je sledován po delší časový úsek. Zaznamenává se elektroencefalografie, elektrookulografie, elektromyografie. Díky měření a zaznamenávání těchto veličin, lze rozlišit jednotlivé fáze spánku a bdělost.



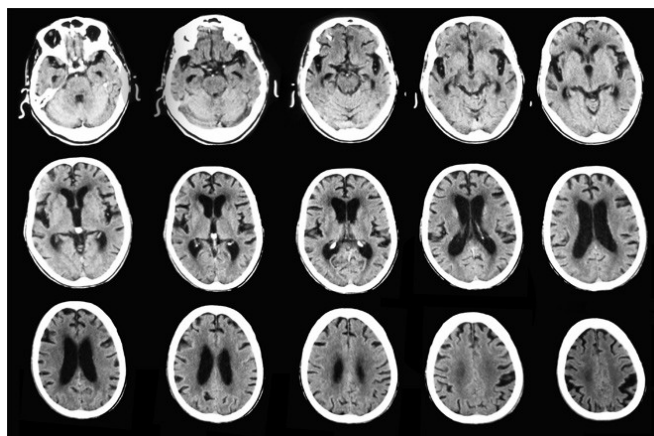
Obrázek 16 Polysomnografický záznam, zobrazení měřených veličin a videozáznamu z místnosti s pacientem.
Převzato z [24]

Mimo tyto záznamy se může ještě snímat elektrokardiografie, sleduje se dech a dechové pohyby, srdeční frekvence, nasycení krve kyslíkem, či krevní tlak. Polysomnografické vyšetření by mělo probíhat v dobře odhlučené, temné místnosti. Většina místností pro polysomnografické vyšetření je vybavena kamerovým záznamem. Lůžko vyšetřovaného je kvůli tomuto osvětleno infračerveným světlem. V průběhu vyšetření má vyšetřovaný upevněny příslušné snímače a elektrody, jejichž záznamy jsou zobrazovány pracovníkovi ve vedlejší místnosti. Výsledný zápis se označuje jako polysomnogram neboli záznam fyziologických parametrů během spánku spolu se záznamem z místnosti kde je uložen pacient (obr. č. 24).

4.4 Výpočetní tomografie

Tomografického rentgenového zobrazení se dosahuje pomocí řady projekcí pod různými úhly. Pomocí CT pořizujeme u ležícího pacienta transverzální řezy.

Pacient je fixován na posuvném lůžku, které postupně prochází snímacím stojanem. V něm je na jedné straně štěrbinový zdroj rentgenového záření a na opačné straně sada scintilačních detektorů. U některých tomografů jsou detektory umístěny proti rentgence a pohybují se souhlasně s ní. Rentgenové záření prochází pacientem, kde se částečně absorbuje. V dané pozici pacienta je provedena expozice a údaje o míře zeslabení rentgenového záření získané pomocí scintilačních detektorů jsou zaznamenávány do paměti počítače.



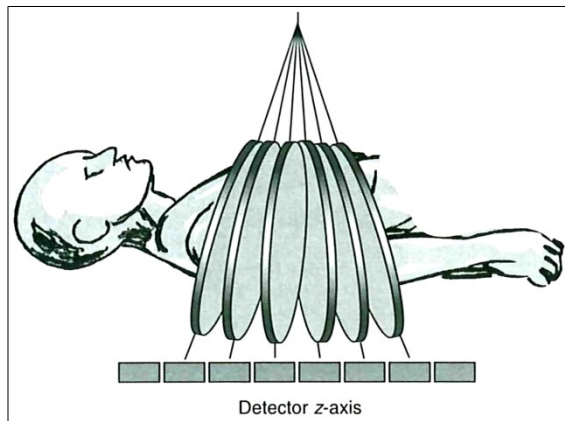
Obrázek 17 CT transverzální řezy

Potom se systém rentgenka – scintilační detektory pootočí o určitý úhel a celý děj se opakuje. Po proběhnutí všech cyklů skenování pacienta jsou do paměti počítače uloženy všechny údaje z každého scintilačního detektoru. Tyto údaje jsou v počítači zpracovány a výsledný tomograf je dán hodnotami absorpčních koeficientů z jednotlivých míst tkání daného řezu. Před CT vyšetřením i během něj se podává často kontrastní látka, aby se zdůraznily rozdíly mezi normální a patologickou tkání.

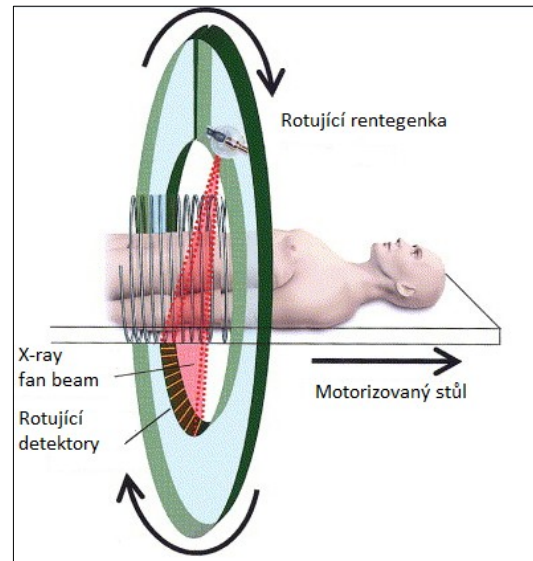
Vývoj výpočetní tomografie lze rozdělit do několika generací, nejrozšířenější jsou tomografy třetí generace.

Třetí generace CT

Výpočetní tomografie třetí generace má lineární mozaiku detektorů o 256-1024 detekčních elementech ležící naproti rentgence na kruhovém oblouku o rozvoru zhruba 30° - 40° se středem v rentgence (anglický název pro toto uspořádání je fanbeam). Akvizice dat trvá 2.5 až 10 sekund. Rentgenka vykonává kolem pacienta rotační pohyb obvykle ve spirále, díky motorizovanému pohyblivému lůžku. Jako detektory rentgenového záření se využívají kombinace scintilátoru a fotodetektoru, nebo xenonem plněné ionizační komory. Můžeme se setkat i s více řezovými detektory, které jsou schopny snímat více řezů najednou a snižují tak celkovou dobu expozice.



Obrázek 19 Víceřezová projekce. Převzato z [25]

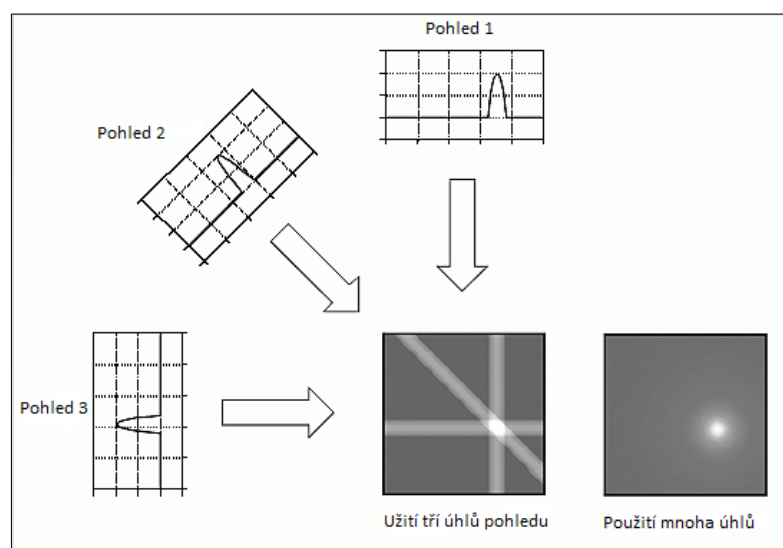


Obrázek 20 Třetí generace CT Převzato z [26]

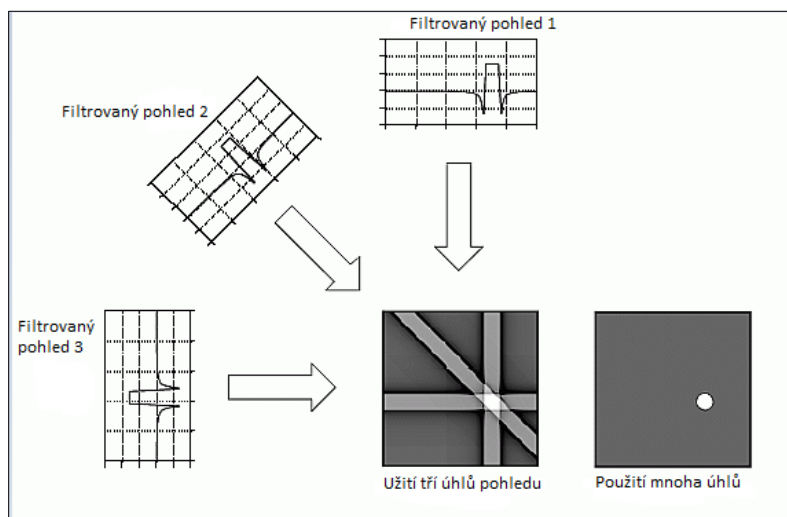
Rekonstrukční algoritmy

Pro zpracování obrazu CT je nutné si uvědomit, že zobrazení řezu je vlastně dvourozměrná mapa lineárního absorpčního koeficientu $\mu(x,y)$. Explicitní Radonův vzorec určuje mapu $\mu(x,y)$ jako integrál přes všechny přímky průmětů $P_\phi(\xi)$ s váhovým faktorem $(x\cos\phi + y\sin\phi - \xi)^{-2}$. V praxi je zapotřebí specifických numerických metod a algoritmů, zvláště když si uvědomíme, že tomografy druhé a vyšších generací užívají vějířových svazků, případně spirální a víceřezové technologie, pro které třeba hledat odpovídající numerické operace a postupy, všechny však mají svůj základ v Radonově transformaci. Valná většina CT přístrojů používá pro rekonstrukci obrazu metodu zpětné projekce. Jedná se o zjednodušenou diskrétní formu inverzní Radonovy transformace.

Při použití jednoduché zpětné projekce dostaneme rozmazaný obraz, zatížený hvězdicovým artefaktem, proto se používá konvoluční filtrování a dostáváme tak filtrovanou zpětnou projekci.



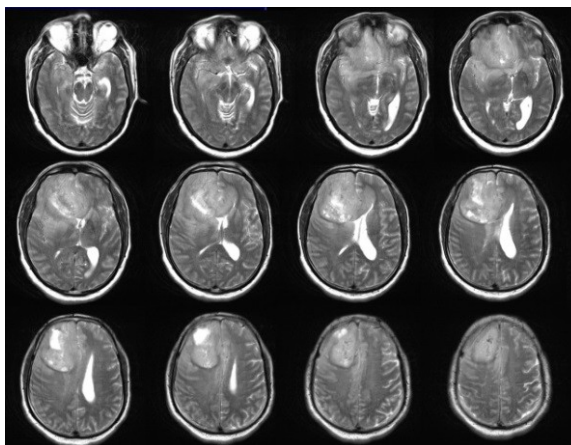
Obrázek 21 Nefiltrovaná zpětná projekce. Převzato a upraveno z [27]



Obrázek 22 Filtrovaná zpětná projekce. Převzato a upraveno z [27]

4.5 Nukleární magnetická rezonance

Nukleární magnetická rezonance (NMR) je fyzikálně-chemická metoda založena na analýze magnetických momentů atomových jader. Obrazy vznikají na základě odezvy dočasných změn magnetických poměrů v tkáních. Při této zobrazovací metodě se využívá radiofrekvenčního elektromagnetického záření.



Obrázek 23 MRI transversální řezy hlavou.

Princip NMR

Atomové jádro se skládá z protonů a neutronů, které nesou souhrnný název nukleony. Každý nukleon má svůj moment hybnosti neboli spin. Spin je kvantová veličina, která může být orientována vzhledem k určitému směru kvantování paralelně nebo antiparalelně. Pro užití NMR jsou důležitá pouze jádra s lichým počtem nukleonů. V lékařství se nejvíce využívá jádro vodíku. Dopadne-li na jádra vodíku vysokofrekvenční záření obsahující fotony s energií rovnající se rozdílu potenciální energie protonů s antiparalelní a paralelní orientací, dojde k rezonančnímu jevu. Tento jev nám popisuje fakt, že foton může být absorbován a jeho energie excituje proton z nižšího energetického stavu do vyššího energetického stavu. Po ukončení působení záření, klesne proton zpátky do nižšího energetického stavu a uvolní foton. Při rezonanční frekvenci dochází k větší absorpci elektromagnetického vlnění v látce, která je registrována prostřednictvím fotonů uvolňovaných při relaxaci. Frekvence f , splňující rezonanční podmínku nazýváme Larmorovou frekvencí a s indukcí vnějšího magnetického pole vytváří následující vztah, vyjadřující rovnice č. 1.

Rovnice 1 Larmorova frekvence

$$f = \gamma B_0$$

,kde $\gamma = 42,58 \text{ MHz} \cdot \text{T}^{-1}$ se nazývá gyromagnetický poměr protonu

MRI vyžaduje velmi silné magnetické pole pohybující se od 0.2 T do 0.3 T. Při spuštění takto silného magnetu vzniká homogenní elektromagnetické pole a spolu s ním gradient magnetického pole. Pro řízení gradientu magnetického pole slouží speciálně konstruované gradientní cívky umístěné uvnitř hlavního magnetu, kde vytváří gradient magnetického pole. Pomocí gradientu magnetického pole lze přesně lokalizovat relaxační signál, který je dále zesilován a analyzován pomocí Fourierovy transformace. Magnetická indukce gradientních cívek je ve srovnání s indukcí hlavního magnetu menší, okolo 10mT až 15mT. Pro správné zobrazení různých anatomických oblastí je nutné použití RF cívek,

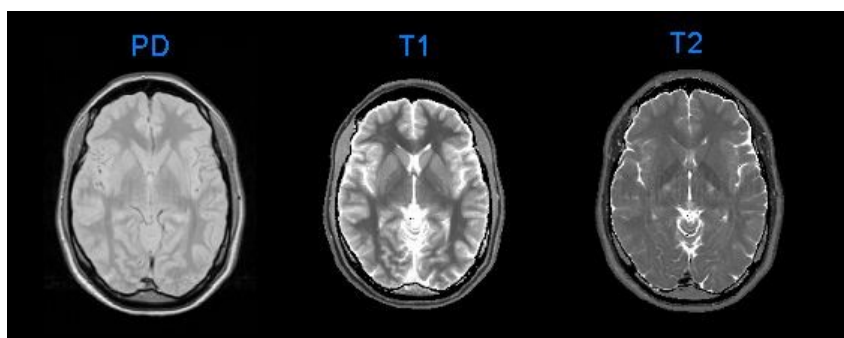
sloužících k vysílání RF pulsů do těla vyšetřovaného pacienta. Tyto RF cívky slouží zároveň jako detektory NMR signálu. Pro zlepšení kontrastu se často používají paramagnetické látky.

Základní pulsní sekvence a kontrasty v NMR

Hlavním cílem MR zobrazování je vytvořit snímek s kontrastem mezi jednotlivými typy tkání. Jas v obrázku ovlivňuje mnoho faktorů. Mezi základní 3 patří:

- T1 relaxace
- T2 relaxace, resp T2*relaxace
- PD

Vhodným uspořádáním pulsní sekvence lze dosáhnout požadovaného. Kontrasty snímků vycházející z variability relaxačních časů různých tkání se realizují změnou způsobu, jak excitujeme spiny a následně pozorujeme jejich signál, tedy změnou parametrů pulsní sekvence. Zmíníme zde 3 hlavní parametry pulsní sekvence, které vedou ke změně kontrastu. Prvním je energie použitá na radiofrekvenční excitační puls, která se vyjadřuje jako sklápěcí úhel (vyjadřuje sklopení vektoru tkáňové magnetizace). Čím více energie vyzáříme do vzorku tkáně, tím více času je třeba pro plnou relaxaci. Druhý parametr je čas TR. Udává dobu, po níž opakovaně aplikujeme jednotlivé excitační pulsy. S kratším časem TR je i méně času k T1 relaxaci. Posledním parametrem je čas mezi excitačním pulsem a detekcí rezonančního signálu, který označujeme jako TE. Při delším času TE budou jádra s kratším časem T2 přispívat k měřenému signálu méně.



Obrázek 24 T1-váhovaný obrázek, T2-váhovaný obrázek, PD-váhovaný snímek.

Mezi pulsní sekvence patří saturation-recoverytechnique(SR), spin-echoestechique(SE), inversion-recoverytechnique(IR), gradient-echo technique(GE). V této práci nebudou rozebírány. Po aplikaci sekvencí dostaneme FID, resp. Echo signál z celého excitovaného objemu. Pro vytvoření obrázků reprezentujících prostorovou distribuci požadovaného parametru tkáně je třeba nějakým způsobem kódovat pozici. K tomu se využívá závislosti Larmorovy frekvence na magnetické indukci B, kterou lze prostorově modulovat přidáním již zmíněných gradientních magnetických polí v osách x, y a z. Kódování probíhá v následujících krocích:

- Výběr tomografie, gradient v ose z
- Frekvenční a fázové kódování, gradient v osách x, y

5. AKTIGRAFIE

Aktigrafie je neinvazivní metoda, při níž se sleduje aktivita pacienta. Ke snímání slouží jednotka, která snímá hrubou motoriku pacienta. Na zápěstí, které je méně často používáno (lidé využívající ke psaní pravou ruku, umístí snímač na levou a naopak) se umístí zařízení podobné náramkovým hodinkám s pamětí, které zaznamenává, kdy docházelo k pohybovým aktivitám a kdy byl naopak měřený v klidu (tedy spal nebo se o to pokoušel). Data jsou ukládány do paměti a mohou být později načteny v režimu offline. Pro aktigrafii není nutné odesílat data v reálném čase. Na rozdíl od polysomnografie toto vyšetření spícího tolik neobtěžuje, a je proto vhodnou volbou pro ty, kteří polysomnografii netolerují. Tímto postupem se dá rovněž pozorovat denní spánek.



Obrázek 25 Snímač aktigrafie v podobě náramkových hodinek. Převzato z [28]

Náramkové hodinky umožňují, aby pacient zůstal v jeho přirozeném prostředí pro spánek, výsledkem jsou platné naměřené údaje. Spánková Aktigrafie je také cenově dostupnější než provádění polysomnografie. Aktigrafie umožňuje klinicky zhodnotit patofyziologie spánku jako je nespavost, poruchy rytmu spánku, nadměrnou ospalost, nebo syndrom neklidných nohou. Používá se také při posuzování účinnosti farmak, fototerapie.

Aktigrafie byla aktivně používána ve studiích spánku od počátku 1990. Nicméně, není tradičně používána v běžné diagnostice poruch spánku, stále je hlavním vyšetřením polysomnografie. Aktigrafie je však spolehlivou metodou, s přesností nad 90% spolehlivosti polysomnografie, je tedy schopna postupně nahradit v některých případech vyšetření touto finančně náročnější metodou. Velké uplatnění nachází aktigrafie ve studiích klinických drog, kde je kvalita spánku považována za dobrý ukazatel kvality života a vliv drogy na organismus.

Snímací jednotka

Aktigrafická jednotka je elektronické zařízení, které se obvykle skládá z následujících prvků:

- Piezoelektrický akcelometru.
- Low-pass filtru, který filtruje vše kromě 2-3 Hz, díky tomuto filtru jsou ignorovány externí vibrace.
- Časovač pro spuštění/zastavení jednotky v určitých časech a pro určení časového rámce pro sběr dat.
- Paměť pro uložení výsledných hodnot.
- Rozhraní, obvykle USB pro stahování dat z paměti do PC.

Měření

Aktigrafy mají několik různých způsobů, jak sbírat hodnoty z akcelometru do paměti:

- ZCM (zero crossing mode) počítá, kolikrát křivka akcelometru překročí 0 pro každé časové období.
- PIM (proportional integral mode) stanoví velikost plochy pod křivkou, a přidává velikost plochy během každého časového období.
- TAT (time above threshold) používá určitý práh a měří dobu, kdy je vlna nad prahem.

Vlastnosti

Aktigrafické jednotky se značně liší, co týče velikosti a funkce a mohou být rozšířeny o další výstupy. Nicméně, existuje řada omezujících faktorů:

- Vzorkovací frekvence: v minutových intervalech mohou poskytovat dostatečnou podrobnost pro měření spánku, ale může být příliš pomalý pro měření dalších parametrů.
- Velikost paměti: spolu se vzorkovací frekvencí, množství paměti určuje, jak dlouho se měření může provádět.
- Využití baterie: některé jednotky mají krátkou životnost baterie.
- Hmotnost: čím těžší jednotka, tím více je rušivé jeho použití.
- Odolnost proti vodě: pro správné měření je často žádoucí, aby bylo možno nosit zařízení do sprchy, vany, nebo dokonce na plavání / potápění.

Jednotka může být obohacena:

- Sledování funkčnosti.
- Uživatelský vstup.
- Subjektivní vstup uživatele.
- Senzory monitorující teplotu, okolní světlo, hluchost, Parkinsonův třes, kožní odpor, EEG.

6. HARDWARE x-IMU

Hardware X-IMU (obr.č. 26) byl navržen tak, aby byl co nejuniverzálnější inerciální měřicí jednotkou a referenčním systémem. Tato jednotka má několik senzorů, 8 pomocných portů a algoritmů, které dělají z x-IMU výkonný snímač a regulátor. Toto zařízení je schopné pracovat v reálném čase a komunikovat přes bluetooth, jako bezdrátová aplikace, nebo zaznamenávat data na SD kartu. Zařízení je schopné pracovat v pohotovostním režimu, který šetří spotřebu, tato funkce činí ze zařízení ideální samostatný záznamník dat. Nabíjí se díky USB portu. Otevřený zdrojový kód x-IMU GUI umožňuje uživateli nastavit všechny vnitřní x-IMU nastavení, data snímačů zobrazit v reálném čase a exportovat data do jiných programů. Disponuje malými rozměry. Bez krytu má velikost 33x42x10, s krytem a baterií 57x38x21 mm. Je malé hmotnosti váží pouhých 12g. Pro popsání a pochopení přínosu tohoto přípravku v této diplomové práci, jsou dále popsány pouze komponenty související přímo s měřením.



Obrázek 26 Zařízení x-IMU Převzato z [8]

Vlastnosti

- Gyroskop
- Akcelerometr
- Magnetometr
- Baterie
- Volitelná rychlost vzorkování dat až 512 Hz.

Konektivita

- USB
- Mikro SD karta, podporuje FAT16/32 a SDHC

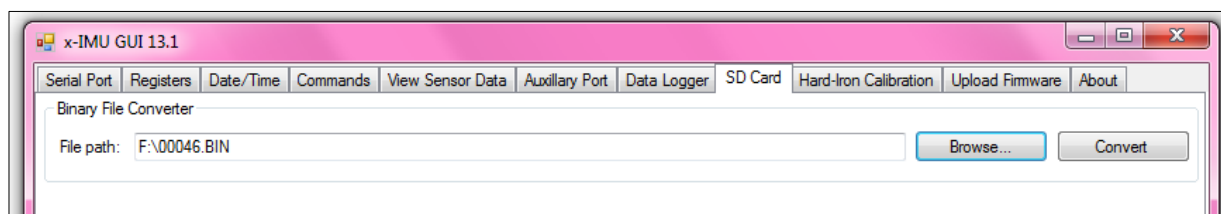
Mezi další vlastnosti zařízení patří možnost časovače pro vypnutí a přechod do úsporného režimu, při delší nečinnosti. Zařízení disponuje aktuálním časem a kalendářem.

Význam diod

- **Zelená dioda**, indikuje stav kdy zařízení snímá nebo odesílá data, v případě provádění některých jiných příkazů dioda nesvítí. V režimu spánku dioda svítí co 3 sekundy. Pokud je přípravek připojen ke čtecímu zařízení, bliká dioda velmi rychle.
- **Žlutá dioda**, slouží pro indikaci zápisu dat na SD kartu. Dioda zůstane svítit pokaždé, když jsou data v procesu zápisu na kartu. Pokud se nenastaví frekvence vzorkování dat, dioda blikne pokaždé, pokud dojde k záznamu dat. Čím více dat se zapisuje na kartu, tím je blikání diody intenzivnější.
- **Modrá dioda**, indikace činnosti Bluetooth.
- **Červená dioda**, poukazuje na nabíjení přípravku.

SD karta

Přípravek x-IMU dokáže pracovat s daty posílanými jak přes bluetooth, tak i přes SD kartu. Záznam dat může probíhat oběma způsoby současně, nebo jen pomocí jednoho z nich. Při používání SD karty pro záznam dat, vznikne vždy nová složka s daty v binární podobě pokaždé, když je přípravek vypnut/zapnut, co je probuzen ze sleep režimu nebo je resetován. Jakmile je soubor (.bin) vytvořen, je velmi snadné jej načíst do počítače a pomocí aplikace x-IMU GUI data konvertovat. Data převedené do podoby.csv jsou dobře zpracovatelné pro prostředí Matlabu.



Obrázek 27 Převádění formátu.

X-IMU podporuje SD karty a SDHC card1, karty mohou být naformátovány jako:

- FAT16, pro karty s menší než 2GB paměti.
- FAT 32, pro karty větší než 2GB paměti.

Pro spolehlivý provoz se doporučuje, aby byla karta vždy před použitím naformátována.

Vždy nově vytvořený soubor je pojmenován pomocí pěti místného čísla. Například 00000.bin. Číslo uložené v registru SD karty se automaticky navyšuje s vytvořením každého nového souboru. Tím je zajištěno, že každý soubor má svůj jedinečný název, dokud není dosaženo maxima 65535.bin, pak se se automaticky začíná zase na souboru 00000.bin a opět se číselný název navyšuje až do maxima.

Název položky	Datum změny	Typ	Velikost
00000_CalInertialAndMag	26.1.2014 12:00	Soubor aplikace Microsoft Excel ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami)	466 kB
00012.BIN	26.1.2014 16:52	Soubor BIN	321 kB
00012_CalBattAndTherm		Soubor aplikace Microsoft Excel ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami)	105 kB
00012_CalInertialAndMag		Soubor aplikace Microsoft Excel ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami)	562 kB
00012_Commands		Soubor aplikace Microsoft Excel ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami)	1 kB
00012_DateTime	26.1.2014 16:54	Soubor aplikace Microsoft Excel ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami)	159 kB
00012_Errors	26.1.2014 16:54	Soubor aplikace Microsoft Excel ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami)	10 kB
00012_EulerAngles	26.1.2014 16:54	Soubor aplikace Microsoft Excel ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami)	226 kB
00012_Quaternion	26.1.2014 16:54	Soubor aplikace Microsoft Excel ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami)	316 kB
00012_Registers	26.1.2014 16:54	Soubor aplikace Microsoft Excel ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami)	5 kB
00012_RotationMatrix	26.1.2014 16:54	Soubor aplikace Microsoft Excel ve formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami)	639 kB
00013.BIN	26.1.2014 16:53	Soubor BIN	123 kB

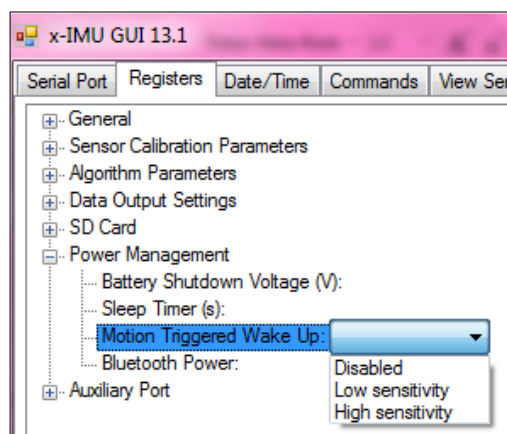
Obrázek 28 Značení souborů.

Každý uživatel přípravku, může název v rejstříku přepsat, shoduje-li se ovšem s nějakým názvem již existujícím, nebude soubor vytvořen. Pro uložení dat je nutné vždy soubory uzavřít, než je karta vyjmuta z přípravku, nebo je x-IMU vypnut. V jiném případě je soubor poškozený a zapsaná data budou ztracena. Soubor je automaticky zavřen, pokud je x-IMU resetován, nebo zapnut *sleep* režim. Kvůli nutnosti častého vytažení karty, bylo tlačítko *command button* nakonfigurované do režimu *sleep/wake mode*.

SD karta se vsouvá do x-IMU do zásuvky, která obsahuje feromagnetické prvky. Aby nedocházelo k znehodnocení dat a nepřesnosti měření, jsou tyto deformace odstraněny díky kalibraci, kdy je každý x-IMU přípravek dodáván s fiktivní SD kartou která zajišťuje stejné chování přípravku s/bez SD karty.

Aktivace měření pomocí detekce pohybu

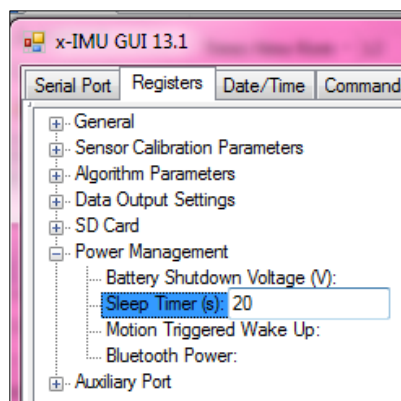
Aktivace měření pomocí detekce pohybu lze nastavit pomocí „*motion trigger wake up*“ registru, ten může být nastaven na vypnuto/zapnuto nebo nízkou či vysokou citlivost. Pohyb je detekován pomocí akcelerometru. Je-li při detekci pohybu x-IMU je v režimu spánku, pak se x-IMU se probudí.



Obrázek 29 Nastavení detekce pohybu.

Časovač spánku

Pokud x-IMU není v režimu spánku, například pokud je časovač nastaven na 20 sekund, a pohyb je detekován alespoň jednou za každých 20 sekund, zabrání časovač přechodu do *sleep* režimu. Nicméně, je-li zjištěn žádný pohyb po dobu 20 sekund, x-IMU přejde do sleep režimu. Pokud bude detekován pohyb během sleep režimu, přípravek se aktivuje.



Obrázek 30 Nastavení časovače spánku.

Command button

X-IMU je vybaven programovatelným příkazovým tlačítkem. Tlačítko má několik možností, na které může být nastaveno. Pouze přinastavení „reset“ a sleep/wake up se může přípravek aktivovat z režimu spánku.

Módy příkazového tlačítka:

- Stop
- Reset
- Sleep/wake up
- Command inicialization
- Algorithm tare command
- Algorithminitialisethen tare command

Reálný čas a datum

Měřit čas a datum lze v reálném čase. Čas a datum lze správně synchronizovat s hodinami v počítači, v softwaru přípravku v záložce *Date/Time*. Výstupní rychlost dat těchto paketů může být nastavena na vypnuto, 1Hz, 2Hz, 4Hz, 8Hz, 16Hz, 32Hz, 64Hz, 128 Hz, 256Hz nebo 512Hz v *Date/Time* rejstříku rychlost přenosu dat. Datový paket *Date/Time* je vždy zaslán na zařízení, pokud je zařízení resetováno, bez ohledu na uživatelská nastavení, tak aby datum a čas byly dostupné jako první paket zapsaný na SD kartu. Nastavení reálného času a data proběhne pomocí paketu poslaného na zařízení. Informace o datumu a čase mohou být zjištěny kdykoliv, zasláním datového paketu na x-IMU.

Baterie a nabíjení

Přípravek má standartní konektor na napájení 3.7 V LiPo (Lithium Polymer) baterie. Tento druh baterií je velmi často užívám a je k dostání s různými kapacitami, například 1000mAh a 2000mAh. Životnost baterie závisí na uživatelském nastavení a četnosti užívání. Při každém připojení přes USB je přípravek automaticky nabíjen. Indikaci pro nabíjení značí červená dioda.

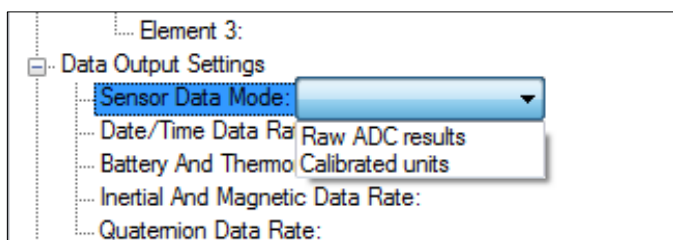


Obrázek 31 Příklad Li-Po baterie. Převzato z [11]

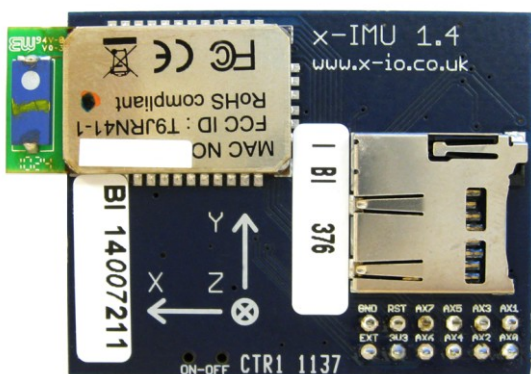
6.1 Senzory

Na základní desce x-IMU zařízení najdeme gyroskop, magnetometr a akcelerometr, disponující tři osovým souřadným systémem. Dále na desce najdeme teploměr a voltmetr pro měření baterie.

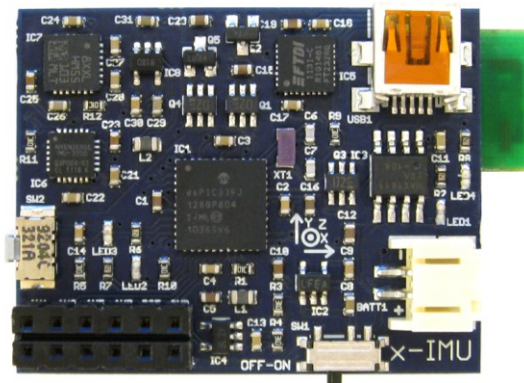
Uživatel může přistupovat k jednotlivým datům snímačů buď jako ke surovým nekalibrovaným výsledkům ADC nebo jako ke kalibrovaným jednotkám a to díky zadání režimu v registru módu dat senzoru.



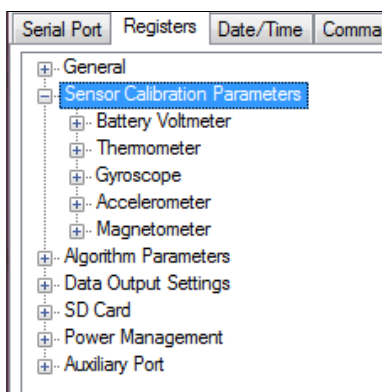
Obrázek 32 Nastavení režimu dat.



Obrázek 33 Zadní strana základové desky x-IMU.



Obrázek 35 Přední strana základové desky x-IMU.

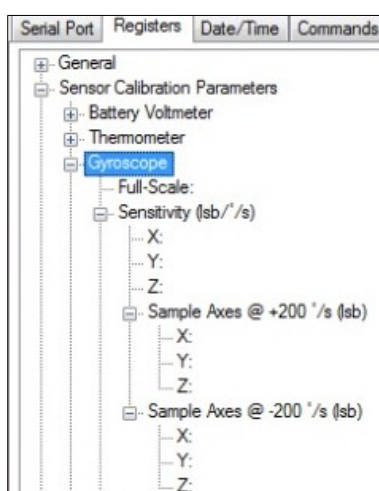


Obrázek 34 Nastavení senzorů.

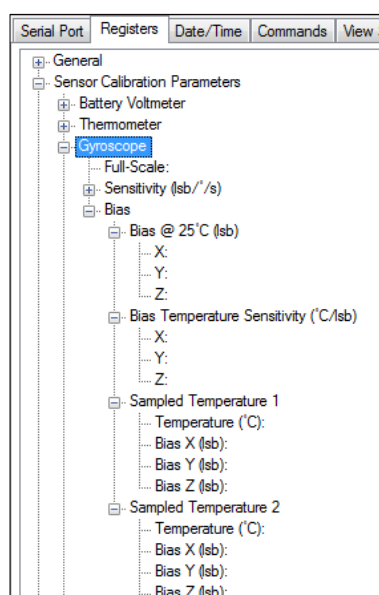
Gyroskop

Tří osový gyroskop provádí měření úhlové rychlosti kolem os x, y, z přípravku x-IMU. Gyroskop musí být správně zkalibrován, aby IMU a AHRS algoritmus fungoval správně. Oba algoritmy používají hodnoty úhlové rychlosti k odfiltrování chyb z orientace způsobené lineárním zrychlením a časovými magnetickými deformacemi. Gyroskop má 16bitové rozlišení a rozsah 250/s, 500/s, 1000/s nebo 2000/s.

Gyroskop je vlastně setrvačnick, těžké kolo otáčející se v ložiscích s nepatrným třením. Otáčející se setrvačnick má moment hybnosti, takže jeho osa bez působení vnějších sil udržuje stále stejný směr. Obvykle je setrvačnick uložen v tzv. Cardanových závěsech. Pokud se v gravitačním poli zavěsí gyroskop na lanko a roztočí, osa otáčení se změní do pravého úhlu k závěsu a gyroskop se otáčí podél osy shodné se směrem působení gravitační síly (každé rotující těleso má snahu dostat se do polohy s největším momentem setrvačnosti, což je v případě rotujícího válce, resp. tenké kruhové desky rotace kolem osy kolmé k ose válce). Tento typ pohybu se nazývá precese. Čím větší je setrvačnick a čím rychleji jej roztočíme, tím je precese výraznější. Pevnost osy gyroskopu v prostoru je dána prvním Newtonovým zákonem, který říká, že těleso které je v klidu nebo v pohybu zůstává v setrvačném stavu, dokud na něj nezačne působit síla zvnějšku. Takto i osa gyroskopu, která je ze začátku rychle roztočena, má svou vlastní tendenci ve své rotaci a poloze setrvat. [18]



Obrázek 37 Možnosti nastavení gyroskopu.

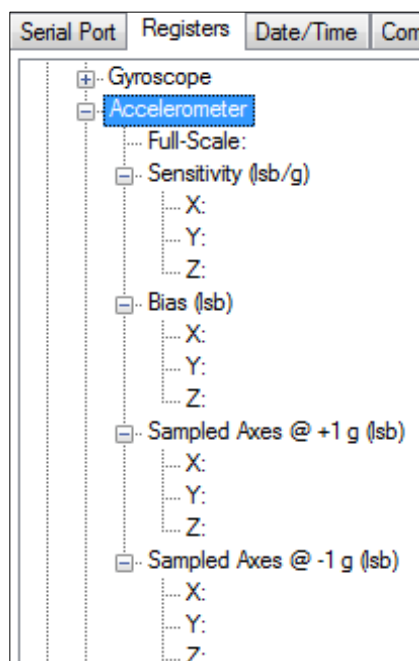


Obrázek 36 Možnosti nastavení gyroskopu.

Akcelerometr

Akcelerometr provádí měření zrychlení podél os x, y, z přípravku x-IMU. Síla způsobující vibrace nebo změnu pohybu (akceleraci) působí na hmotu snímače, která pak stlačuje piezoelektrický prvek generující elektrický náboj úměrný stlačení. Protože je elektrický náboj úměrný síle a hmota snímače je konstantní, je tedy elektrický náboj také úměrný zrychlení - akceleraci.

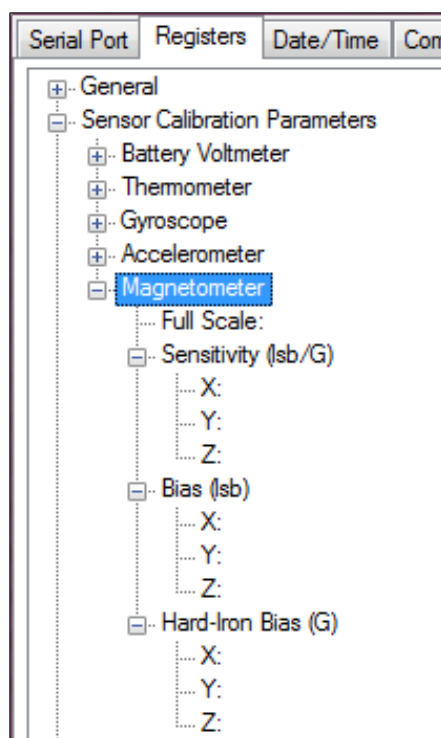
Akcelerometr musí být dobře zkalibrován, protože o výpočty s užitím akcelerometrických dat se opírají IMU a AHRS algoritmy. Vypočítává se odchylka měření směru gravitace. Data poskytují absolutní referenci pro výpočet náklonu a otočení komponentů při změně orientace. Akcelerometr má 12-ti bitové rozlišení a volitelné rozsahy od 2 g na 8 g.



Obrázek 38 Možnosti nastavení akcelerometru.

Magnetometr

Tří osový magnetometr provádí měření magnetického toku. Algoritmus IMU a AHRS využívá dat z magnetometru k měření zemského magnetického pole a poskytuje absolutní referenci pro měření orientace. Magnetometr má 12bitovou rozlišovací schopnost a možný rozsah od 1:3 do 8:1 G.

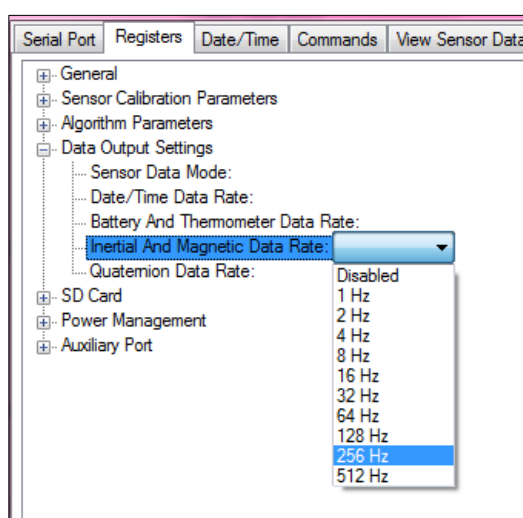


Obrázek 39 Možnosti nastavení magnetometru.

Kalibrace senzorů

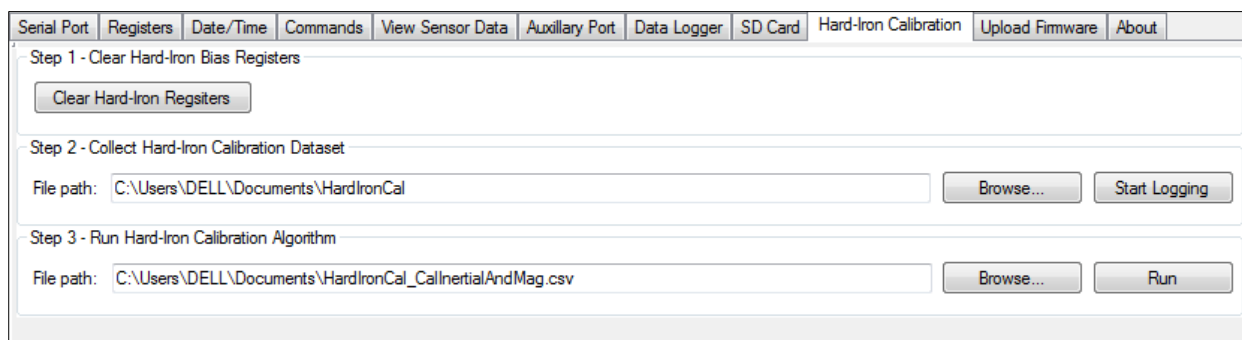
Citlivost a náchylnost k odchylkám gyroskopu, akcelerometru a magnetometru je kalibrována již při výrobě v továrně, užitím velmi přesného kalibračního zařízení. Bylo nutné provést po celkovém dokončení přípravku x-IMU kalibraci magnetometru. Obal, ve kterém je zařízení umístěno obsahuje kromě plastových částí, také kovové šroubky. Kromě kovových komponentů obalu, se v dokončeném zařízení nachází i baterie a jiné elektronické komponenty, které by mohly způsobit nepřesné měření jednotlivých senzorů, zejména magnetometru. Tyto nepřesnosti měření jsou tedy odstraněny již v závodě, mohou ovšem nastat i během užívání, proto je možné zařízení zkalibrovat i v domácím prostředí použitím software x-IMU GUI.

Před provedením kalibrace, musí být nastaven výstup *inertial and magnetic data packets* na frekvenci 256 Hz.



Obrázek 40 Nastavení frekvence.

Kalibrace se dále provádí v záložce *Hard iron registers*, kde se provádí ve třech krocích. V kroku dvě je nutné nasbírat data, kdy je x-IMU natáčen ve všech možných úhlech co nejdále od možných zdrojů magnetického rušení. Slot na SD kartu vykazuje různé magnetické vlastnosti podle toho, zda je SD karta zasunuta v zásuvce, nebo ne. Každý x-IMU je kalibrován ve výrobním závodě svloženou falešnou SD kartou, aby se snížila potřeba kalibrace uživatelem.



Obrázek 41 Kalibrace zařízení.

6.2 IMU and AHRS algoritmus

Největší předností X - IMU je algoritmus, díky kterému jsou senzory umístěné na desce schopny vypočítávat orientaci vzhledem k Zemi. Tento algoritmus je schopen pracovat v režimu AHRS nebo IMU.

V případě užívání IMU algoritmu se nevyužívají veškeré senzory, kterými je přípravek vybaven, data se sbírají ze senzoru gyroskopu a akcelerometru. V tomto nastavení se hlavní měřicí komponenty orientace mění velmi pomalu. Díky tomu nemá magnetické zkreslení nebo rušení vliv na měření a proto se data z magnetometru nepoužívají. Režim IMU se využívá při měřeních a pro aplikace kdy je nutné zjistit informace o náklonu a otočení, nikoliv směr pohybu.

Režim AHRS využívá všechny senzory na desce. Algoritmus pro vyhodnocení dat ze všech senzorů má řadu přidružených příkazů. Příkaz inicializace přinutí algoritmus znovu se inicializovat. Takže proporcionální zesílení (K_p) řídí, jak rychle se výstup algoritmu přibližuje k výstupům měření akcelerometru a magnetometru. Proporcionální zesílení začíná na vysoké hodnotě a pomalu se snižuje až na provozní hodnotu. Příkaz Tare, uloží aktuální orientaci x-IMU, získáme tak aktuální referenční souřadnice. Tento příkaz zároveň uloží získané souřadnice do energeticky nezávislé paměti, kde zůstávají uloženy až do příštího resetu zařízení. Tato informace o aktuální poloze x-IMU přípravku lze smazat příkazem *clear*, který vymaže tuto nezávislou paměť. Algoritmus AHRS se využívá pro aplikace, kdy je informace o směru pohybu důležitá.

6.3 Snímání dat z končetiny

Aby se dala data snímat pomocí x-IMU, bylo nutné zhotovit pouzdro, ve kterém by se dal modul x-IMU upevnit ke snímané dolní končetině. Vzhledem k předpokládanému pohybu končetiny, je nutné, aby bylo toto pouzdro pevné a spolehlivé a také uzpůsobené na různě široké končetiny. Proto má pouzdro suchý zip s delší plochou pro upevnění a kapsičku, do které je možné přípravek vsunout a zapnout.



Obrázek 43 Pouzdro pro měření, zapnuté.



Obrázek 42 Pouzdro pro měření, otevřené.

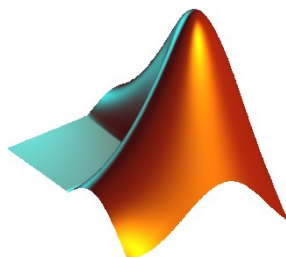
7. SOFTWARE

Software x-IMU

Přípravek x-IMU bylo nutné vhodně nastavit pro snímání. Jak bylo popsáno v kapitole výše, přípravek má velké možnosti nastavení jednotlivých parametrů senzorů. Pro práci bylo rozhodující, zvolit vyšší vzorkovací frekvenci, než která je běžná u aktigrafie, abychom dokázali zachytit a detekovat i ty nejmenší pohyby ve spánku. Taktovací, neboli vzorkovací frekvence nám poskytuje informaci kolik vzorků bylo z končetiny sejmuto za jednu sekundu, udává tedy míru citlivosti. Při námi použité vzorkovací frekvenci bylo sejmuto 128 vzorků za sekundu.

Matlab

Matlab je interaktivní programové prostředí a skriptovací programovací jazyk čtvrté generace. Program Matlab je vyvíjen společností MathWorks. Původně byl jazyk určen pro matematické účely, ale časem byl upraven, byly přidány nové funkce a rozšíření, rozrostl se různými směry a dnes je využitelný v široké paletě aplikací. Matlab je využíván pro vědecké a výzkumné účely a to jak v soukromém sektoru, tak i v akademických řadách. Hlavní oblastí využití jsou technické obory a ekonomie. Matlab pracuje s proměnnými, které ukládá do souborů s koncovkou *. m, takzvané m-files, obsahují definice funkcí, skriptů nebo tříd. Obsahuje také komponenty jako je Toolbox, Simulink a Guide. V této práci se pracovalo především v Guide. [16]



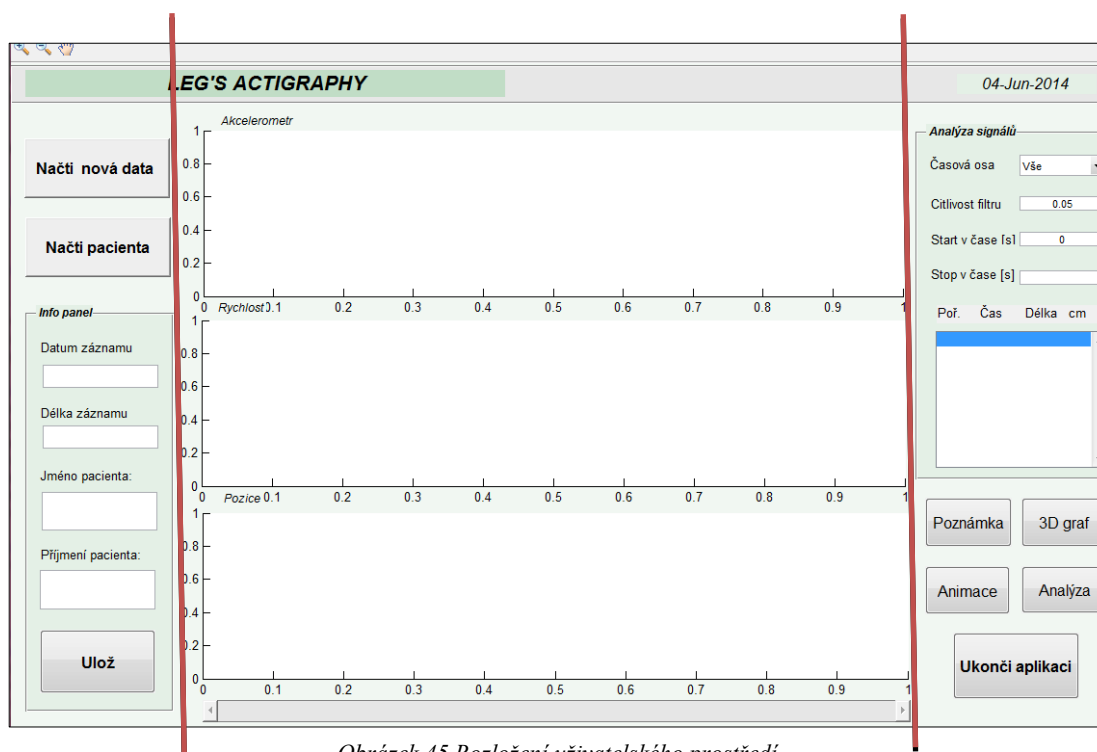
Obrázek 44 Logo Matlabu

Grafické uživatelské rozhraní

Anglicky Graphical User Interface (GUI) je uživatelské rozhraní, které umožňuje ovládat počítač pomocí interaktivních grafických ovládacích prvků. Na monitoru počítače jsou zobrazena okna, ve kterých programy zobrazují svůj výstup. Uživatel používá klávesnici, myš a grafické vstupní prvky jako jsou menu, ikony, tlačítka, posuvníky, formuláře a podobně. [12]

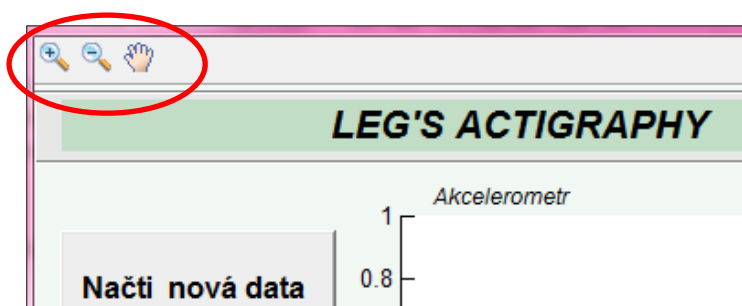
Pro vytvoření vhodného prostřední na zpracování signálu, bylo nutné první vybrat, která data mají nejvyšší výpovědní hodnotu a poté je vhodně zpracovat a zobrazit. Po několika konzultacích a provedení pár zkoušek, byla vybrána data, ze kterých jsou vytvořeny grafy akcelerometr, rychlost a pozice. Dále byla vybrána data, ze kterých je vytvořen 3D graf a animace v 3D.

Uživatelské prostředí je rozděleno na část s informacemi o pacientovi, část kde jsou zobrazeny grafy a část kde se provádí analýza signálů, jak jde vidět na obrázku níže.



Obrázek 45 Rozložení uživatelského prostředí.

Na horní liště je panel nástrojů, ručička pro posouvání v grafu, a lupy na přiblížení a oddálení obrazu jak podél osy x, tak podél osy y.



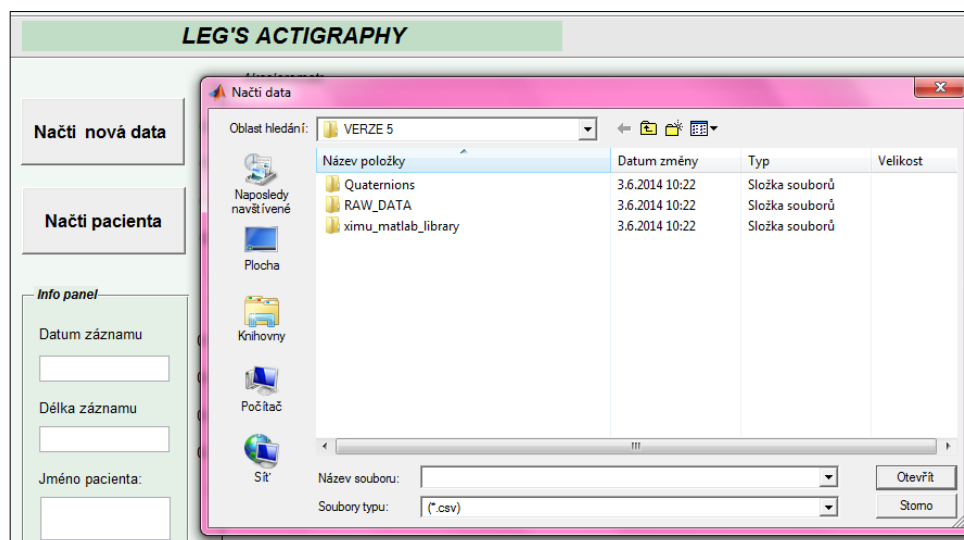
Obrázek 46 Panel nástrojů.

Z důvodu zachování přehlednosti diplomové práce a k důležitosti vysvětlení funkčnosti jednotlivých částí kódu a odpovídajících funkcí GUI, budou dále rozebrány jednotlivé zobrazení a funkce jednotlivě. V příloze jsou pomocí *Enterprise Architect* zobrazené souvislosti a vztahy v aplikaci.

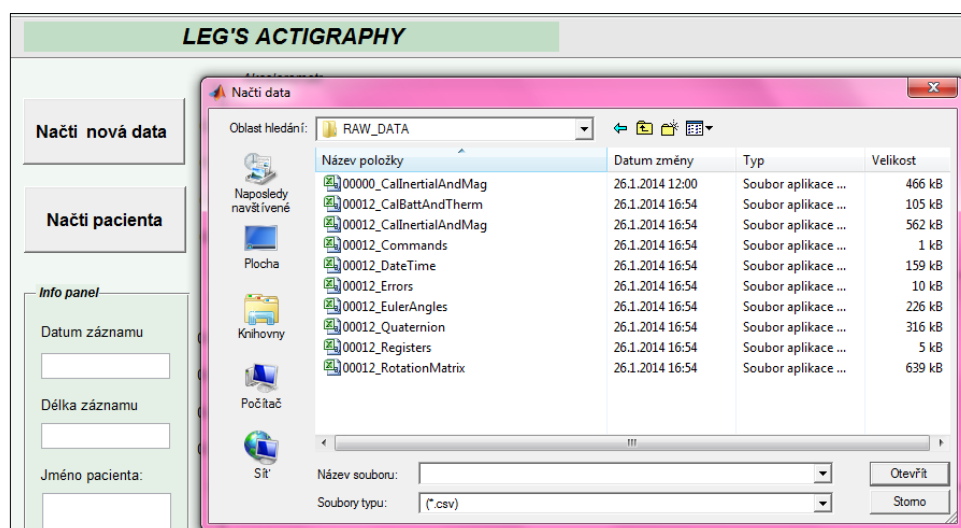
Načti nová data

Pro začátek práce s aplikací je nutné načíst nová data, pod tímto tlačítkem je ukrytá funkce, která načítá veškerá data přípravku, která jsou nutná pro vykreslení jednotlivých grafů. Bylo nutné načíst data ze třídy *xIMUdataClass*, jedná se o data získaná z akcelerometru a gyroskopu, data pro získání délky záznamu a vzorkovací frekvenci. Na obrázcích níže jde vidět postup pro načtení dat. Při zmáčknutí tlačítka, vyskočí okno s výběrem složek. Data, která ještě nebyla aplikací zpracována jsou uložena ve složce RAW_DATA. Po rozkliknutí složky se zobrazí vždy 10 souborů snímače (obr. č. 47), pro

zjednodušení práce s aplikací, je pomocí funkce *for* zajištěno, že pro výběr stačí kliknout pouze na jeden soubor viz. kód.



Obrázek 47 Výběr ze složek.



Obrázek 48 Výběr dat.

Kód:

```
function Nactidata_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Nactidata (see GCBO)
[filename, pathname, filterindex] = uigetfile('*.csv;', 'Načti data');
cislo = findstr(filename, '_');
global samplePeriod

for n=1:cislo-1
jmeno_souboru(n)=filename(n);
end
```


7.1 Základní filtrace dat, funkce DrawData

S daty akcelerometru byla provedena základní filtrace, díky které je možno provést detekci míst, kdy došlo k pohybu a kdy ne. První se vypočte magnituda zrychlení, jeho absolutní velikost a ta se poté filtruje pomocí filtru horní a dolní propust.

Kód:

```
function DrawData(handles, time, samplePeriod, gyrX, gyrY, gyrZ, accX, accY, accZ)
global stationarydata_vel
%data=struct()
% -----
% DETEKCE MÍST, KDY SE PACIENT NEHÝBAL
% Compute accelerometer magnitude
acc_mag = sqrt(accX.*accX + accY.*accY + accZ.*accZ);

% HP filter accelerometer data
filtCutOff = 0.001;
[b, a] = butter(1, (2*filtCutOff)/(1/samplePeriod), 'high');
acc_magFilt = filtfilt(b, a, acc_mag);

% Compute absolute value
acc_magFilt = abs(acc_magFilt);

% LP filter accelerometer data
filtCutOff = 5;
[b, a] = butter(1, (2*filtCutOff)/(1/samplePeriod), 'low');
acc_magFilt = filtfilt(b, a, acc_magFilt);
threshold=str2double(get(handles.threshold, 'String'));
```

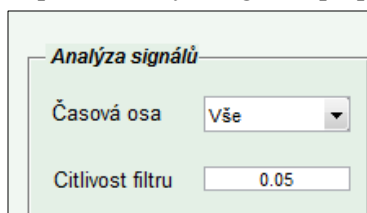
Pro nastavení citlivosti filtru nám slouží „threshold“, tato jednoduchá detekce porovnává velikost absolutní magnitudy zrychlení a daného prahu citlivosti. Poté se vykreslí data po filtraci.

Kód:

```
% Threshold detection
stationary = acc_magFilt < threshold;

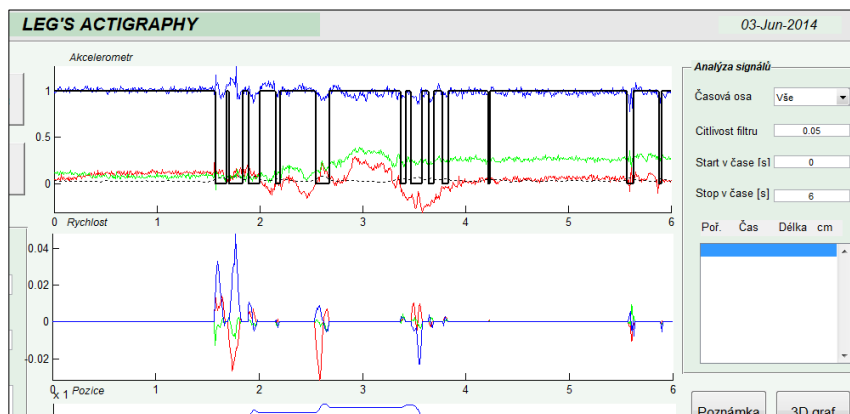
cla(handles.akcelerometr)
line(time, accX, 'Parent', handles.akcelerometr, 'Color', 'r');
line(time, accY, 'Parent', handles.akcelerometr, 'Color', 'g');
line(time, accZ, 'Parent', handles.akcelerometr, 'Color', 'b');
line(time, acc_magFilt, 'Parent', handles.akcelerometr, 'LineStyle', ':', 'Color', 'k');
line(time, stationary, 'Parent', handles.akcelerometr, 'LineWidth', 2, 'Color', 'k');
setAxesZoomMotion(zoom, handles.akcelerometr, 'horizontal');
setAxesPanMotion(pan, handles.akcelerometr, 'horizontal');
axis(handles.akcelerometr, 'tight');
```

Citlivostní práh lze v aplikaci nastavit v panelu analýza signálu, přepsáním váchozí nastavené hodnoty.

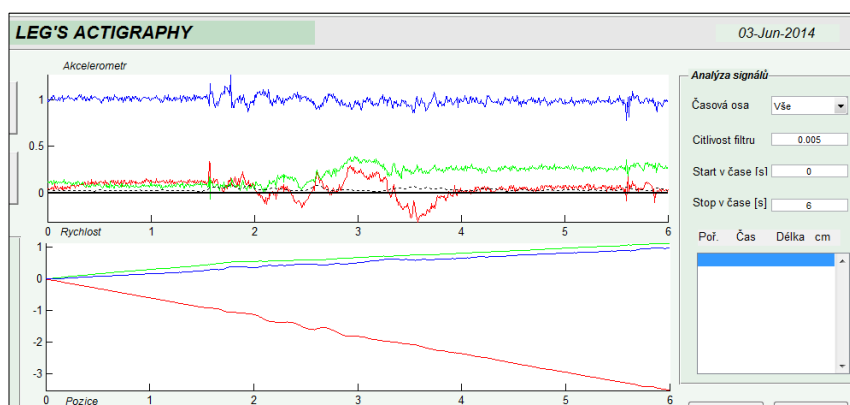


Obrázek 49 Nastavení citlivosti filtru

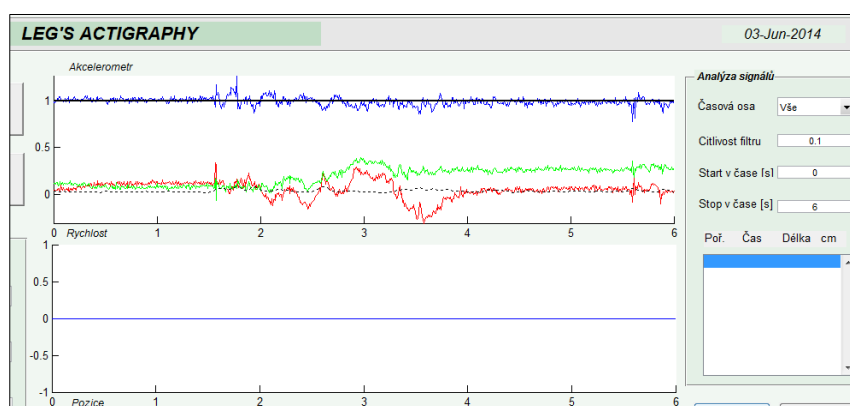
Na obrázku níže lze vidět práce filtrů, je nastavena defaultní hodnota filtru na 0.05. Data z X osy akcelerometru mají červenou barvu, data z osy Y zelenou a data z Z mají modrou barvu. Přerušovaná černá linie, nám zobrazuje vypočtenou magnitudu zrychlení, tam kde je magnituda menší než nastavený práh mají data hodnotu 1 a nejsou zobrazována, tam kde magnituda navyšuje nastavený citlivostní práh, mají data hodnotu 0 a jsou zobrazena, jak lze vidět v grafu „rychlost“.



Obrázek 50 Citlivost filtru nastavená na 0.05.



Obrázek 51 Citlivost filtru nastavená na 0.005.



Obrázek 52 Citlivost filtru nastavená na 0.1.

Hodnota citlivostního prahu filtru, dokáže velmi ovlivnit kvalitu zobrazení signálu, jak lze vidět na obrázcích výše, proto je nutné zvolit experimentálně vhodnou velikost prahu, tak aby nebyla některá důležitá data ze záznamu ztracena.

Výpočet orientace

Pro správné zobrazení dat je nutné provést výpočet orientace v prostoru. K tomuto slouží hlavně algoritmus „AHRSAlgorithm“, který je využívá matlabovský soubor „AHRs.m“. Výpočet AHRS byl popsán výše, při popisu x-IMU a nebude se zde znovu popisovat.

Kód:

```
% VÝPOČET ORIENTACE

quat = zeros(length(time), 4);
AHRSAlgorithm = AHRS('SamplePeriod', samplePeriod, 'Kp', 1, 'KpInit', 1);

% Initialconvergence
initPeriod = 2;
length(time)
indexSel = 1 : find(sign(time-(time(1)+initPeriod))+1, 1);
for i = 1:2000
    AHRSAlgorithm.UpdateIMU([0 0 0], [mean(accX(indexSel)) mean(accY(indexSel))
    mean(accZ(indexSel))]);
end

% Forall data
for t = 1:length(time)
    if(stationary(t))
        AHRSAlgorithm.Kp = 0.5;
    else
        AHRSAlgorithm.Kp = 0;
    end
    AHRSAlgorithm.UpdateIMU(deg2rad([gyrX(t) gyrY(t) gyrZ(t)]), [accX(t) accY(t)
    accZ(t)]);
    quat(t,:) = AHRSAlgorithm.Quaternion;
end
```

AHRs.m

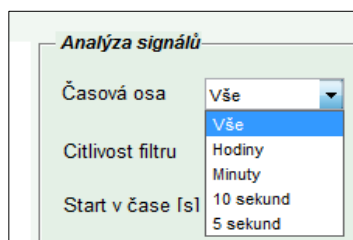
Kód:

```
properties (Access = public)
SamplePeriod = 1/256;
Quaternion = [1 0 0 0]; % output quaternion describing the sensor relative to
theEarth
Kp = 2; % proportional gain
Ki = 0; % integral gain
KpInit = 200; % proportional gain used during initialisation
InitPeriod = 5; % initialisation period in seconds
end
```

Podrobný popis jednotlivých kroků pro výpočet orientace je uveden v komentářích u funkce DrawData. Zdrojový kód je připojen v příloze diplomové práce.

Časová osa

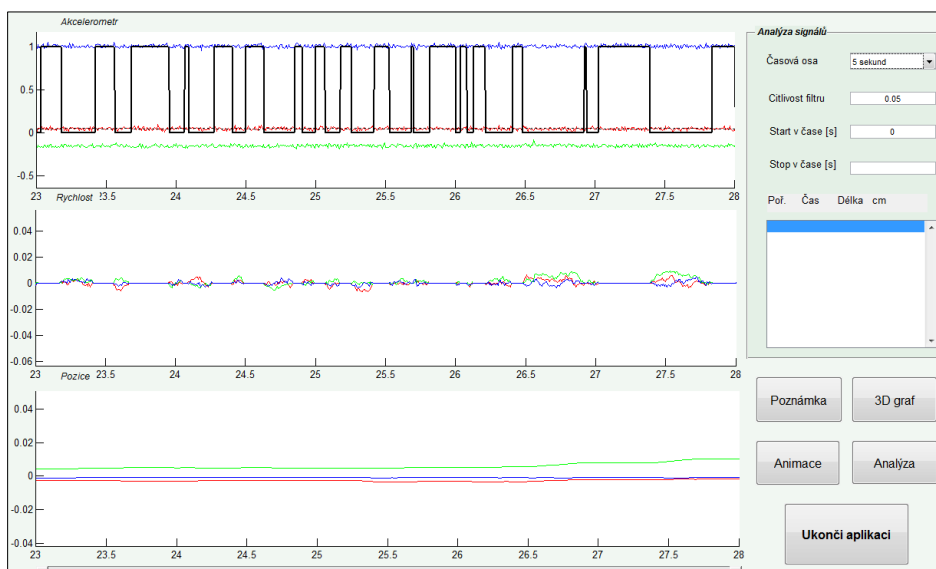
V panelu analýza signálu lze zvolit časovou osu z celkem pěti možností, 5 sekund, 10 sekund, minuty, hodiny, vše, podle potřeby přehlednosti zobrazených dat a délky záznamu.



Obrázek 53 Výběr časové osy.

Kód:

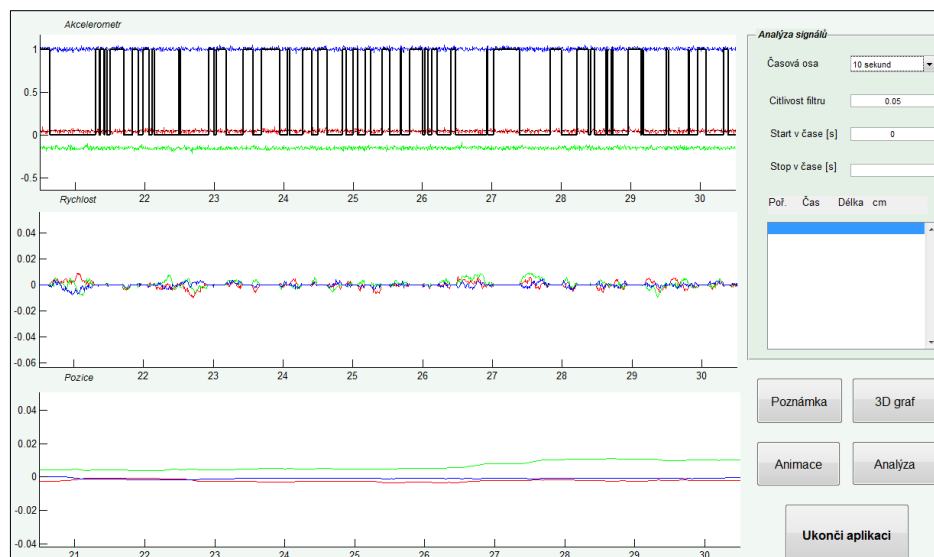
```
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
contents = cellstr(get(hObject, 'String'));
nastaveni_X=get(handles.pozice, 'Xlim');
stred_X = (min(nastaveni_X)+max(nastaveni_X))/2;
switch (contents{get(hObject, 'Value')})
```



Obrázek 54 Časová osa nastavená na 5 sekund.

Kód:

```
case '5 sekund'
if (stred_X > 2.5)
set(handles.akcelerometr, 'Xlim', [stred_X-2.5 stred_X+2.5])
set(handles.rychlost, 'Xlim', [stred_X-2.5 stred_X+2.5])
set(handles.pozice, 'Xlim', [stred_X-2.5 stred_X+2.5])
else
set(handles.akcelerometr, 'Xlim', [0 5])
set(handles.rychlost, 'Xlim', [0 5])
set(handles.pozice, 'Xlim', [0 5])
end
```



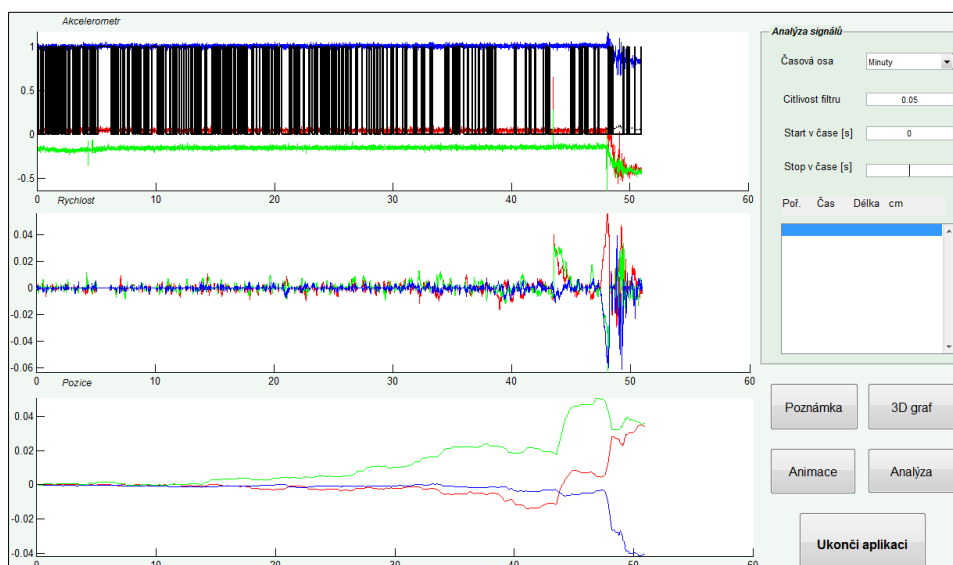
Obrázek 55 Časová osa nastavená na 10 sekund.

Kód:

```

case '10 sekund'
if (stred_X > 5)
set(handles.akcelerometr, 'Xlim', [stred_X-5 stred_X+5])
set(handles.rychlost, 'Xlim', [stred_X-5 stred_X+5])
set(handles.pozice, 'Xlim', [stred_X-5 stred_X+5])
else
set(handles.akcelerometr, 'Xlim', [0 10])
set(handles.rychlost, 'Xlim', [0 10])
set(handles.pozice, 'Xlim', [0 10])
end

```



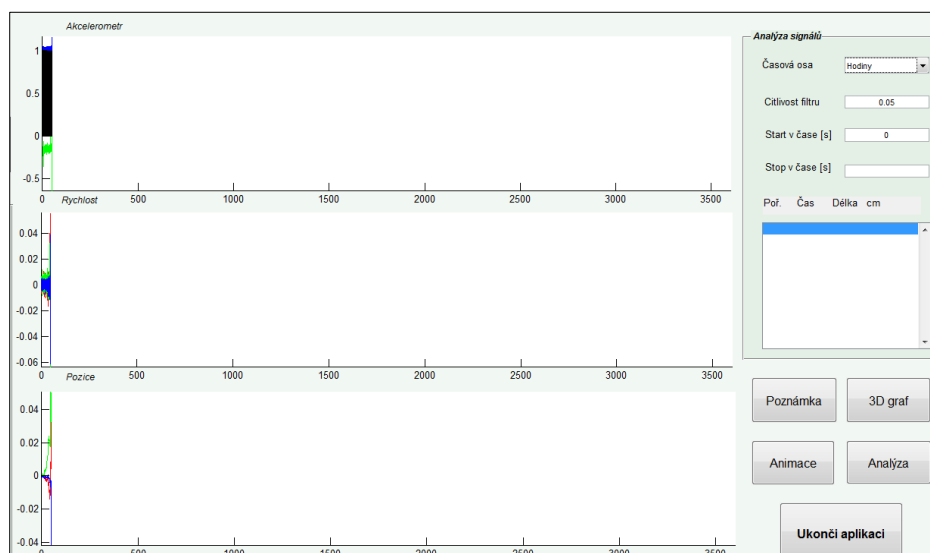
Obrázek 56 Časová osa nastavená na minuty.

Kód:

```

case 'Minuty'
if (stred_X > 30)
set(handles.akcelerometr, 'Xlim', [stred_X-30 stred_X+30])
set(handles.rychlost, 'Xlim', [stred_X-30 stred_X+30])
set(handles.pozice, 'Xlim', [stred_X-30 stred_X+30])
else
set(handles.akcelerometr, 'Xlim', [0 60])
set(handles.rychlost, 'Xlim', [0 60])
set(handles.pozice, 'Xlim', [0 60])
end

```



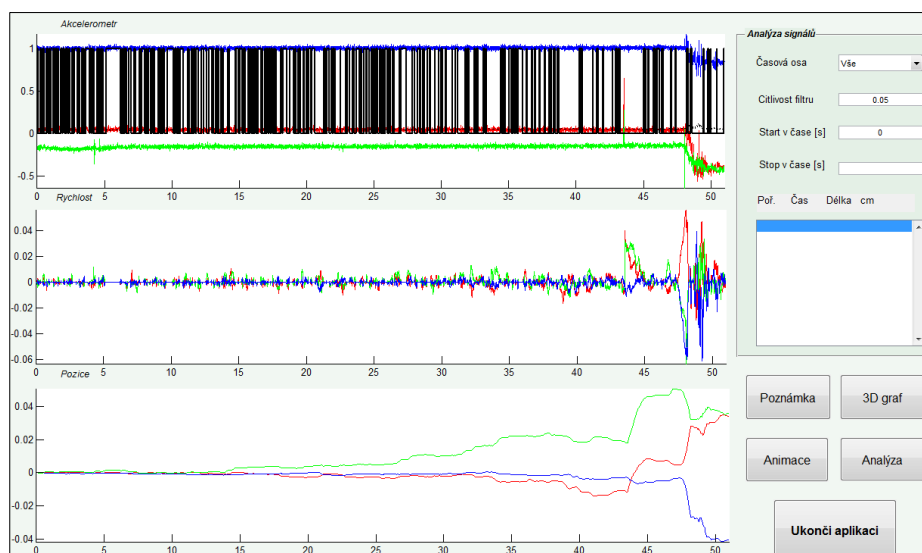
Obrázek 57 Časová osa nastavená na hodiny.

Kód:

```

case'Hodiny'
if (stred_X > 1800)
set(handles.akcelerometr,'Xlim',[stred_X-1800 stred_X+1800])
set(handles.rychlost,'Xlim',[stred_X-1800 stred_X+1800])
set(handles.pozice,'Xlim',[stred_X-1800 stred_X+1800])
else
set(handles.akcelerometr,'Xlim',[0 3600])
set(handles.rychlost,'Xlim',[0 3600])
set(handles.pozice,'Xlim',[0 3600])
end

```



Obrázek 58 Časová osa nastavená na celý rozsah dat.

Kód:

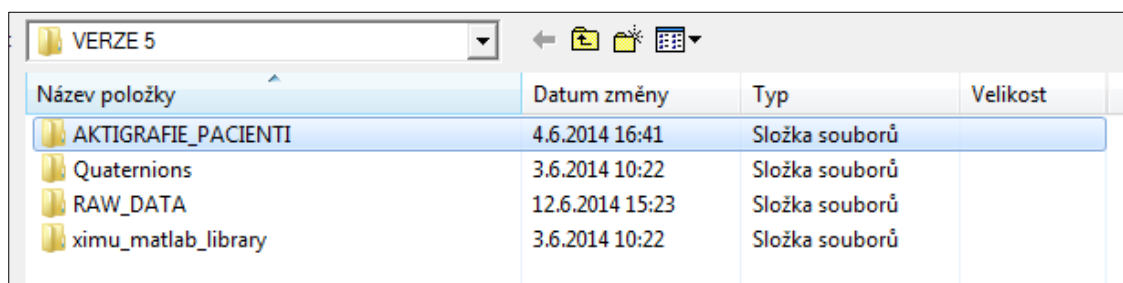
```

case'Vše'
set(handles.akcelerometr,'Xlim',[0 str2double(get(handles.delkazaznamu,'String'))])
set(handles.rychlost,'Xlim',[0 str2double(get(handles.delkazaznamu,'String'))])
set(handles.pozice,'Xlim',[0 str2double(get(handles.delkazaznamu,'String'))])

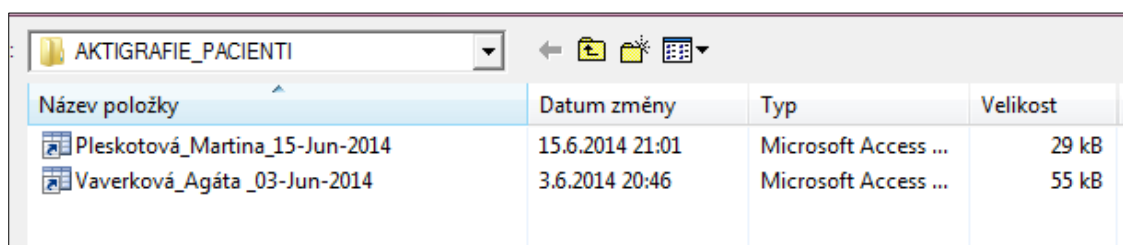
```

Ulož

Data jsou uložena do již existující složky AKTIGRAFIE_PACIENTI, pod jménem a příjmením, která byla zapsána do příslušných kolonek, nacházející se v části infopanelu, jak lze vidět na obrázku níže. Software byl navržen tak, aby se vždy vytvořil soubor se jménem, příjmením a datem zpracování v tomto pořadí. Ukládána je proměnná „uzita_data“, ve které nalezneme informaci o jménu, příjmení, datumu pořízení dat a délku záznamu. Byla také ošetřena funkčnost tlačítka pomocí *errordlg*, které vyskočí pokud pole jméno a příjmení jsou prázdná.



Obrázek 59 Složka pro uložení pacientů.



Obrázek 60 Seznam uložených pacientů.

Info panel

Datum záznamu

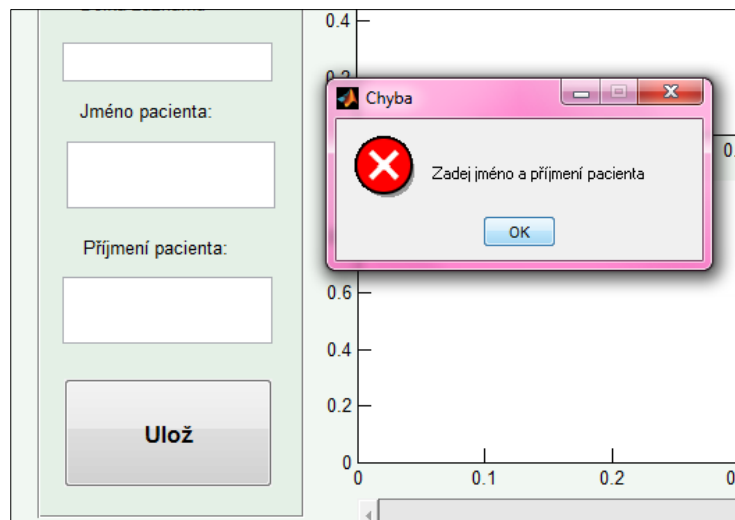
Délka záznamu

Jméno pacienta:

Příjmení pacienta:

Ulož

Obrázek 61 Umístění tlačítka Ulož.



Obrázek 62 Využití funkce `errordlg`.

Kód:

```
function Uloz_Callback(hObject, eventdata, handles)
jmeno=get(handles.jmeno,'String');
prijmeni=get(handles.prijmeni,'String');
delka_zaznamu=get(handles.delkazaznamu,'String');
datum_zaznamu=get(handles.datumzaznamu,'String');

datum=datestr(now,1);
jmeno_souboru=[prijmeni,'_',jmeno,'_',datum]
cesta=cd
finalni_soubor=[cesta,'\','AKTIGRAFIE_PACIENTI','\',jmeno_souboru,'.mat']

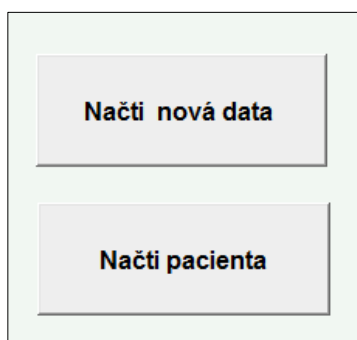
uzita_data=get(handles.Nactidata,'UserData')
uzita_data.jmeno=jmeno;
uzita_data.prijmeni=prijmeni;
uzita_data.delka_zaznamu=delka_zaznamu;
uzita_data.datum_zaznamu=datum_zaznamu;

set(handles.Nactidata,'UserData',uzita_data);

if (isempty(jmeno)&&isempty(prijmeni))
    errordlg('Zadej jméno a příjmení pacienta','Chyba')
else
    save(finalni_soubor,'uzita_data')
end
```


Načti pacienta

Hned pod tlačítkem načti nová data, se nachází tlačítko „načti“ pacienta pro případ, že nechceme pracovat s novými daty, ale s daty již stávajícími a uloženými ve složce AKTIGRAFIE_PACIENTI. Aby software pracoval rychleji, pracuje se s funkcí „DrawData“ do které byla uložena již jednou zobrazená data do formátu *mfile*, což je pro Matlab rychlejší varianta práce se soubory než formát *.csv*, funkce DrawData nám tedy slouží pro rychlejší zobrazení již uložených záznamů pacientů.



Obrázek 63 Umístění tlačítka „Načti pacienta“.

Kód:

```
function NactiPacienta_Callback(hObject, eventdata, handles)

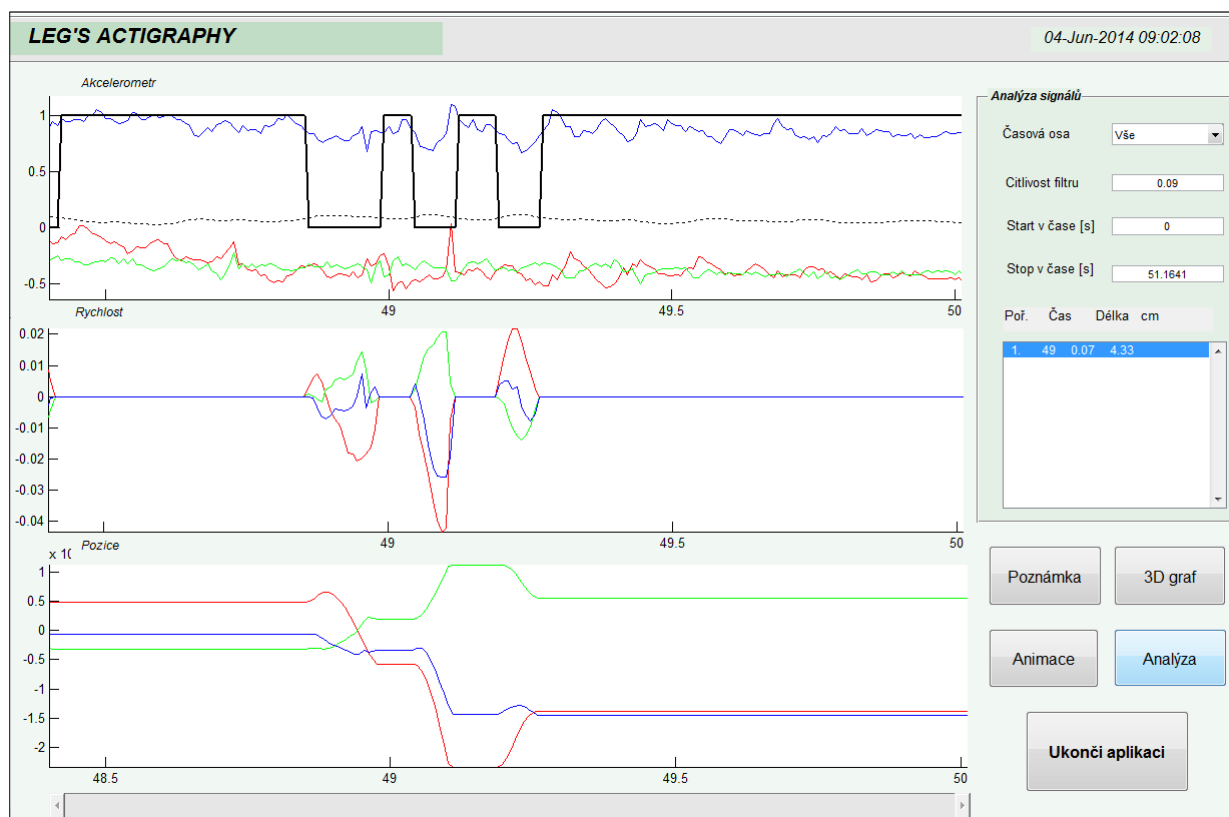
[filename, PathName, FilterIndex] = uigetfile('Aktigrafie_pacienti');
cesta=cd
finalni_soubor=[cesta, '\', 'AKTIGRAFIE_PACIENTI', '\', filename]
load([PathName, filename], 'uzita_data');
time = uzita_data.time;
samplePeriod = uzita_data.samplePeriod;
accX = uzita_data.accX;
accZ = uzita_data.accZ;
accY = uzita_data.accY;
gyrX = uzita_data.gyrX;
gyrZ = uzita_data.gyrZ;
gyrY = uzita_data.gyrY;

set(handles.jmeno, 'String', uzita_data.jmeno)
set(handles.prijmeni, 'String', uzita_data.prijmeni)
set(handles.datumzaznamu, 'String', uzita_data.delka_zaznamu)
set(handles.delkazaznamu, 'String', uzita_data.datum_zaznamu)

DrawData(handles, time, samplePeriod, gyrX, gyrY, gyrZ, accX, accY, accZ);
```

7.2 Analýza signálu

Analýza signálu se provádí pomocí intervalů, v každém intervalu kdy data nejsou stacionární (jsou nulová) se porovnají hodnoty s nastavením prahu, v tomto případě se rovná 0,04, což odpovídá pohybu většímu než 4 cm, tato hodnota se dá změnit, aby analýze podléhaly i menší rozsahy pohybu. V každém intervalu tedy dojde k porovnání velikosti a je posouzeno, zda pohyb je či není významný. Ty data, která jsou větší, než práh jsou vypsána do kolonky v panelu analýza signálů (Obr. č. 64) s pořadovým číslem, s údajem o čase kdy došlo k ději, délkou intervalu jak dlouho trvá doba významnějších pohybů a absolutní maximální velikost pohybu v daném intervalu. Na straně je posuvník pro snadné vyhledávání a také pro lepší orientaci v grafu, stačí na daný nálezn kliknout a graf se automaticky nastaví na požadované místo, kde si chceme děj prohlédnout.



Obrázek 64 Analýza signálu.

Poř.	Čas	Délka	cm
1.	49	0.07	4.33

Obrázek 65 Výsledek analýzy, přiblížení.

Kód:

```

function b_analyza_Callback(hObject, eventdata, handles)
global stationarydata_velanalyzasamplePeriod
data_X = data_vel(:,1); data_Y = data_vel(:,2); data_Z = data_vel(:,3);
intervals = [0; not(stationary) ] - [ not(stationary); 0];
from_to(1,:) = find(intervals == -1);
from_to(2,:) = find(intervals == 1) - 1;
% Threshold !!!
threshold_analyza = 0.04;
data_threshold = abs(data_vel) > threshold_analyza;
data_threshold1 = or(data_threshold(:,1), data_threshold(:,2));
data_threshold2 = or(data_threshold1, data_threshold(:,3));
from_to_accept = [];
peaks = [];
for interval = 1:size(from_to,2)
if (~isempty(find(data_threshold2(from_to(1,interval):from_to(2,interval)),1)))
from_to_accept = [from_to_accept, from_to(:,interval)];
peaks = [ peaks; max(max(abs(data_vel(from_to(1,interval):from_to(2,interval),:))))];
end
end
from_to_accept_time = ((from_to_accept(2,:)-from_to_accept(1,:)) * samplePeriod)';
from_to_accept_start = round(from_to_accept(1,:) * samplePeriod)';
text = cellfun(@(x,y,z,p) sprintf(['%3i. %8i %8.2f %8.2f'], x, y, z, p),
num2cell((1:size(from_to_accept,2))'), num2cell(from_to_accept_start),
num2cell(from_to_accept_time), num2cell(peaks*100), 'uni', false);
set(handles.l_analyza, 'String', text);
analyza = from_to_accept;

function l_analyza_Callback(hObject, eventdata, handles)
global analyzasamplePeriod
from_to_accept = analiza;

listbox_vyber = get(handles.l_analyza, 'Value');
from_to_accept_start = (from_to_accept(1,listbox_vyber) * samplePeriod)';
userData = get(handles.akcelerometr, 'UserData');
t_bounds = userData(2,:);
xlim_old = get(handles.akcelerometr, 'Xlim');
xlim_old_range = xlim_old(2)-xlim_old(1);
xlim_new = [ from_to_accept_start from_to_accept_start+xlim_old_range];

if(xlim_new(2) > t_bounds(2)), xlim_new(2) = t_bounds(2); end
xlim(handles.akcelerometr, xlim_new);
updateSlider(hObject, eventdata, handles );

function l_analyza_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

```

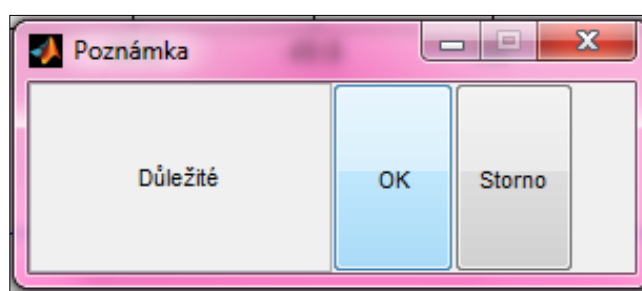
Poznámka

Během prvních konzultací týkajících se požadavku na funkčnost aplikace, byl jeden z nejdůležitějšího požadavku zápis poznámky, který by byl dobře viditelný, a dal by se přímo zapsat do grafu k aktuálnímu úseku, který je potřeba okomentovat. Poznámka se provede pomocí tlačítka, kdy vyskočí uživateli na obrazovku pohyblivý terč, kterým se určí lokalizace poznámky.



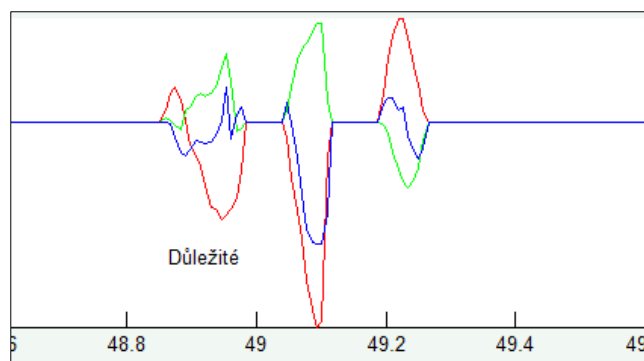
Obrázek 66 Vkládání obrázku.

Po zaměření cílené oblasti poznámky vyskočí okno, kde lze poznámku zapsat a pak stisknutím OK poznámku potvrdit, nebo tlačítkem storno zrušit.



Obrázek 67 napsání poznámky do vyskakovacího okna.

Při stisknutí tlačítka Ok, se poznámka vepíše do grafu.



Obrázek 68 Vložení poznámky do grafu.

Kód:

```
function b_poznamka_Callback(hObject, eventdata, handles)
[x,y] = ginput(1);
out = dialog('WindowStyle','normal','Name',
'Poznámka','Units','Normalized','Position',[0.5 0.5 0.2 0.1]);
edit = uicontrol(out,'Style','Edit','Units','Normalized','Position',[0 0 0.5 1]);
ok = uicontrol(out,'String','OK','Units','Normalized','Position',[0.5 0 0.2
1],'Callback',{ @f_ok,x,y });
storno = uicontrol(out,'String','Storno','Units','Normalized','Position',[0.7 0 0.2
1],'Callback',{ @f_storno });

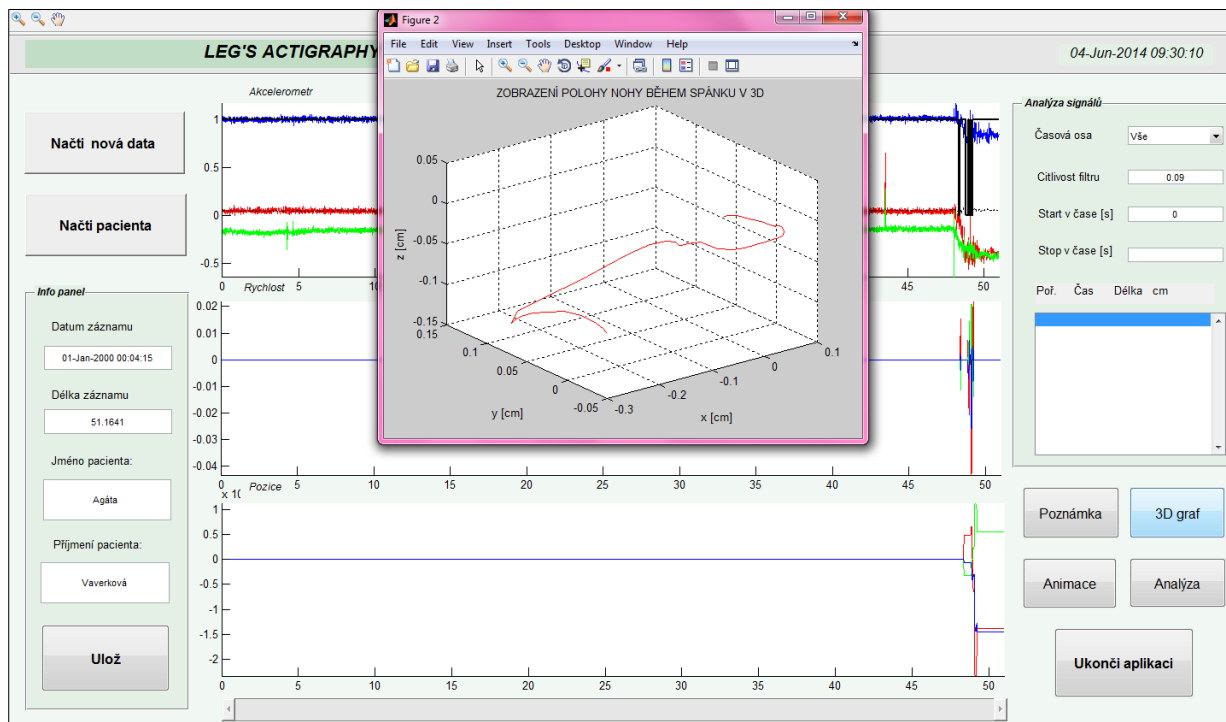
function f_ok(hObject, eventdata, x,y)
handles = guidata(findobj('Name','DIPLOMKA_v5')); % handles of "VCG" figure
h = findobj('Name','Poznámka');
handles_uicontrols = get(h,'Children'); edit =
findobj(handles_uicontrols,'Style','Edit');
% text(x,y,get(edit,'String'),'Parent',handles.akcelerometr);
text(x,y,get(edit,'String'),'Parent',handles.pozice);
text(x,y,get(edit,'String'),'Parent',handles.rychlost);
close(findobj('Name','Poznámka'))

function f_storno(hObject, eventdata, x,y)
close(findobj('Name','Poznámka'))
```

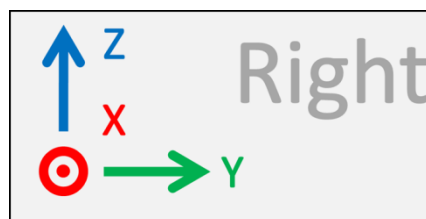
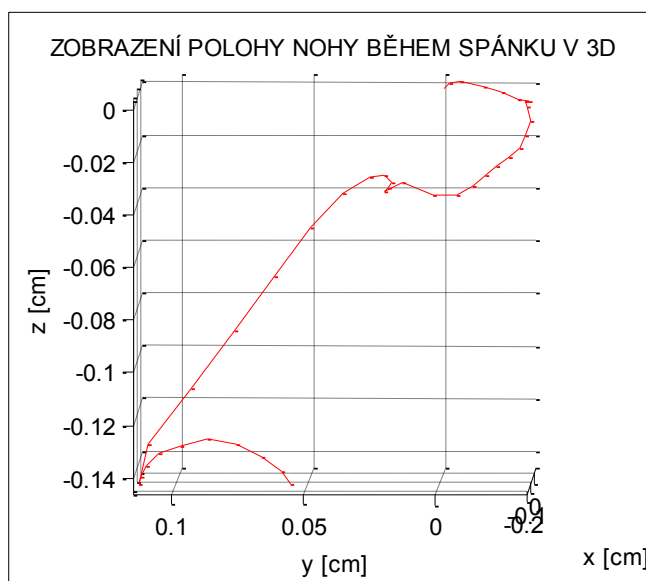
7.3 Zobrazení v prostoru

3D graf

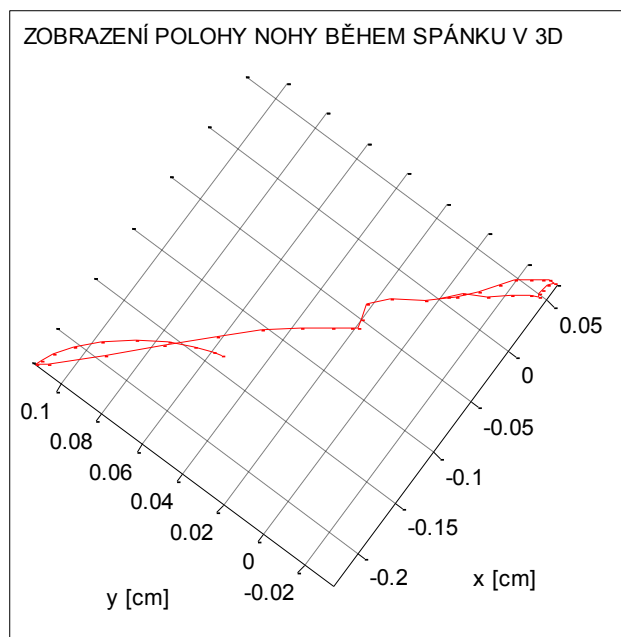
Pro rychlé vizuální posouzení dat slouží možnost 3D zobrazení. Po stisknutí tlačítka 3D graf vyskočí nový figure s 3D zobrazením dat, osy x , y , z mají hodnoty v cm. Díky standartnímu vybavení okna figure lze s grafem libovolně zacházet, různě jej natáčet a přibližovat.



Obrázek 69 3D graf.



Obrázek 70 3D graf, pohled z pravého boku.



Obrázek 71 3D graf, pohled shora.

Kód:

```
% Plot 3D foottrajectory

% Removestationaryperiodsfrom data to plot
% posPlot = pos(find(~stationary), :);
% quatPlot = quat(find(~stationary), :);
posPlot = pos;
quatPlot = quat;

% Extendfinal sample to delay end ofanimation
extraTime = 20;
onesVector = ones(extraTime*(1/samplePeriod), 1);
posPlot = [posPlot; [posPlot(end, 1)*onesVector, posPlot(end, 2)*onesVector,
posPlot(end, 3)*onesVector]];
quatPlot = [quatPlot; [quatPlot(end, 1)*onesVector, quatPlot(end, 2)*onesVector,
quatPlot(end, 3)*onesVector, quatPlot(end, 4)*onesVector]];

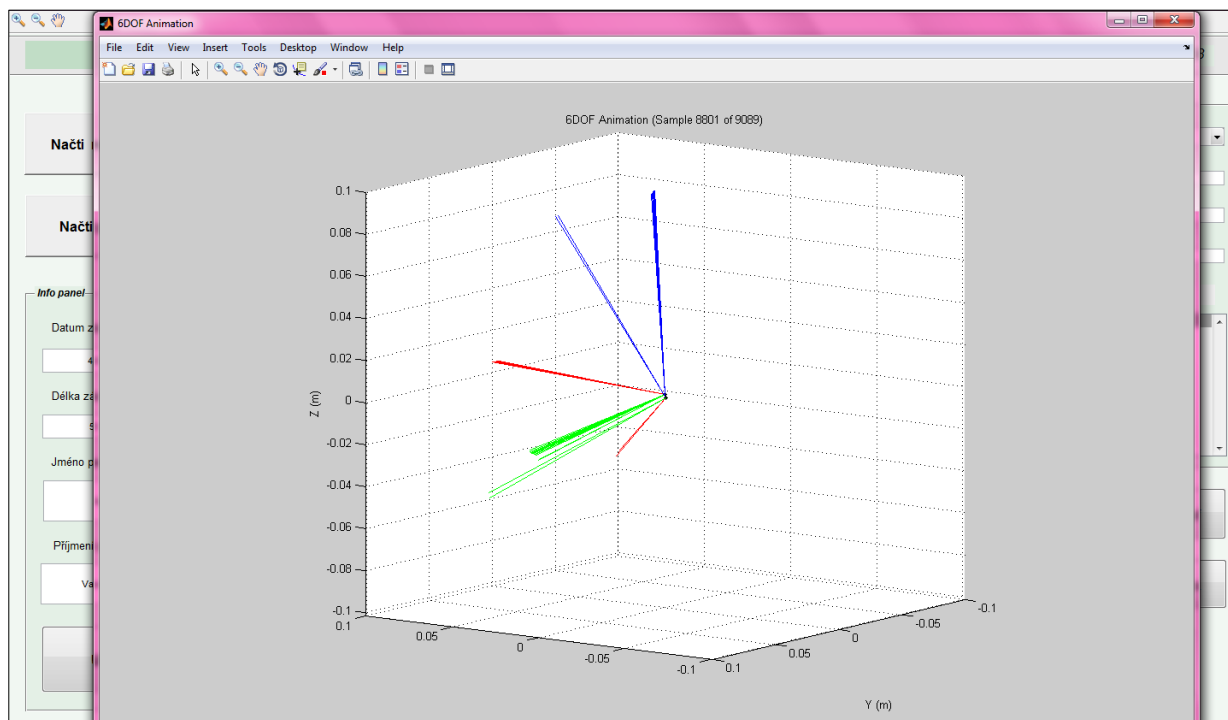
% Create 6 DOF animation
SamplePlotFreq = 4; %%% Změnit vzorkovací frekvenci pro vykreslování animace
Spin = 120;

data_animace.pos=pos;
data_animace.posPlot=posPlot;
data_animace.quatPlot=quatPlot;
data_animace.samplePeriod=samplePeriod;
data_animace.SamplePlotFreq=SamplePlotFreq;
data_animace.Spin=Spin;
set(handles.pozice, 'UserData', data_animace);

linkaxes([handles.akcelerometrhandles.rychlosthandles.pozice], 'x');
```

Animace

Animace dokáže poskytnout širší představu o pohybu končetiny. Jednotlivé vzorky jsou zobrazovány, jak jdou za sebou a vykreslují se do 3D rotujícího pole, dostaneme záznam pohybu od začátku až do konce měření. Pro vykreslení byla použita funkce *SixDoAnimation.mat*.



Obrázek 72 3D animace.

Kód:

```
function b_animace_Callback(hObject, eventdata, handles)
data_animace=get(handles.pozice,'UserData');
posPlot=data_animace.posPlot;
quatPlot=data_animace.quatPlot;
samplePeriod=data_animace.samplePeriod;
SamplePlotFreq=data_animace.SamplePlotFreq * 10;
Spin=data_animace.Spin;

SixDofAnimation(posPlot, quatern2rotMat(quatPlot), ...
'SamplePlotFreq', SamplePlotFreq, 'Trail', 'All', ...
'Position', [9 39 1280 768], 'View', [(100:(Spin/(length(posPlot)-1)):(100+Spin))',
10*ones(length(posPlot), 1)], ...
'AxisLength', 0.1, 'ShowArrowHead', false, ...
'Xlabel', 'X (m)', 'Ylabel', 'Y (m)', 'Zlabel', 'Z (m)', 'ShowLegend', false, ...
'CreateAVI', false, 'AVIfileNameEnum', false, 'AVIfps', ((1/samplePeriod) /
SamplePlotFreq));
```

Ukonči aplikaci

Pod tímto tlačítkem je ukrytý jednoduchý klasický příkaz *closeall*.

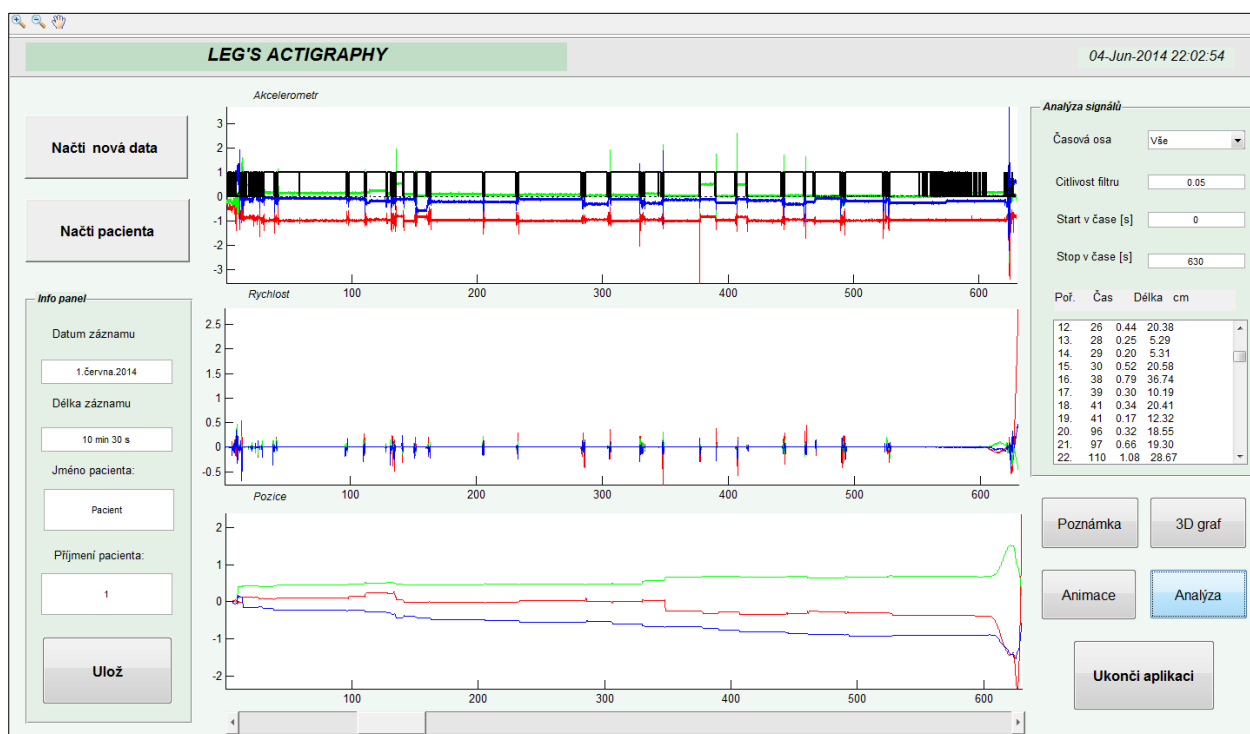
8. TESTOVÁNÍ PROKAZATELNOSTI SPÁNKOVÝCH PORUCH

Pro ukázkou funkčnosti aplikace byla vždy vybrána jedna porucha z poruch projevující se pohyby končetin, parasomnií a délkou spánku. Vybrané poruchy byly popsány v kapitole patofyziologie spánku podrobněji, byla provedena jejich simulace, data byla dále zobrazeny pomocí aplikace.

8.1 Syndrom neklidných nohou

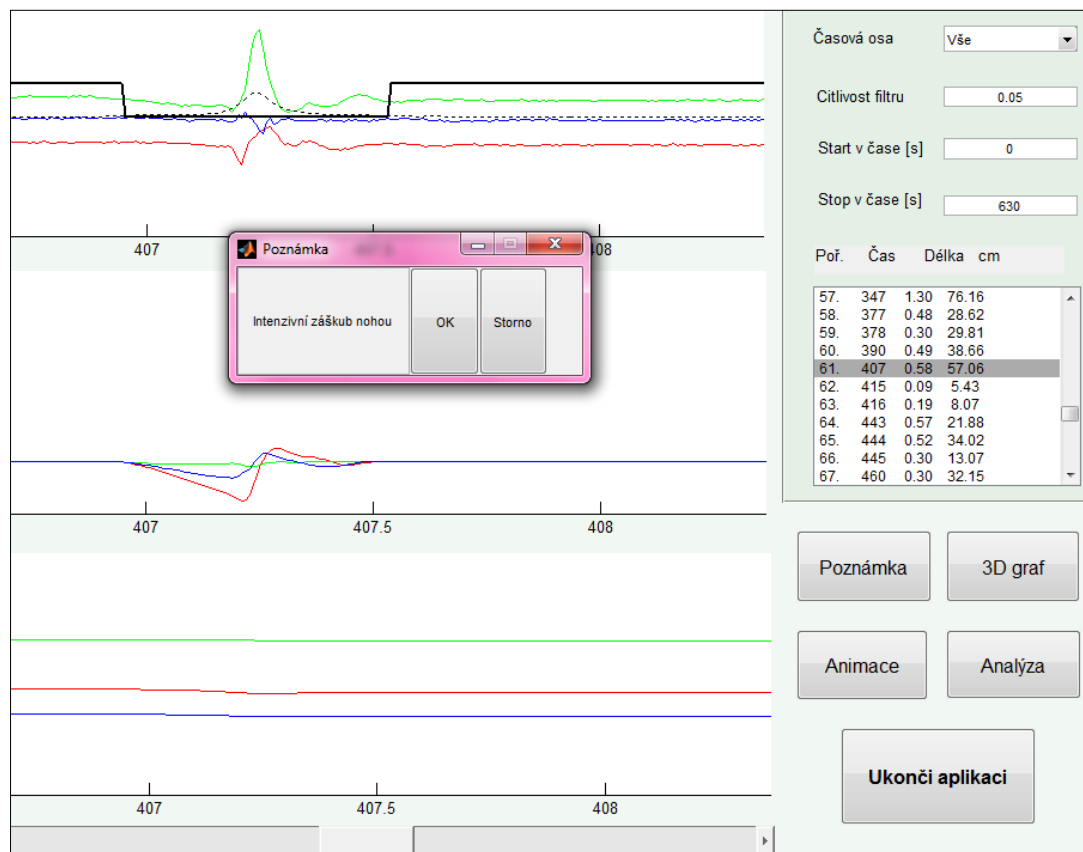
Toto neurologické onemocnění je typické pohybem dolních končetin ve večerních a nočních hodinách, kdy je nemocný v klidu. Během aktivity jsou projevy onemocnění tlumeny. Pohyby dolních končetin začínají podle pacientů většinou, když se snaží uvolnit a sednou si například do křesla, odkud chtějí sledovat televizi, nebo při sezení na židli u stolu, když si čtou, nebo dělají jinou činnost.

Na obrázku níže lze vidět záznam zvýšené činnosti dolní končetiny, při sezení na pohovce. V jednotlivých grafech jdou vidět celkem pravidelné intervaly nečinnosti a pohybu končetiny. Po prvotním načtení dat, byl ponechán práh citlivosti 0.05. Byla provedena analýza signálu a zjištěny hodnoty některých významných pohybů.



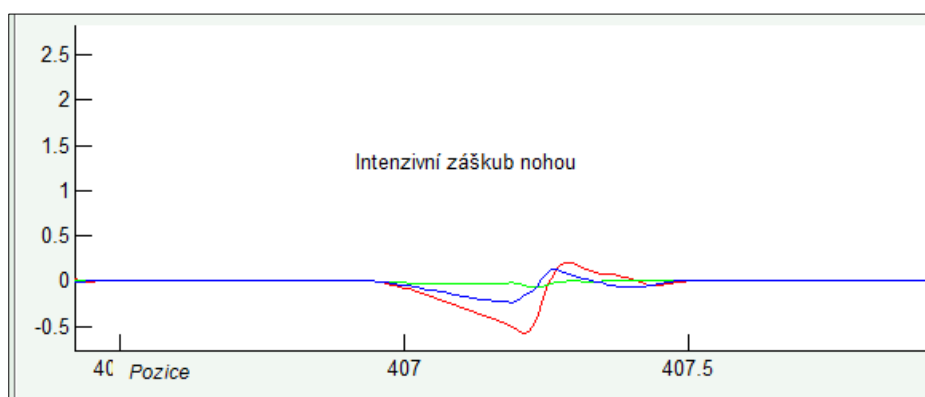
Obrázek 73 Data po načtení.

Po zběžném prohlédnutí výsledků analýzy, byl blíže prozkoumán nálezn s pořadovým číslem 61. Po kliknutí na řádek, najede graf na aktuální polohu nálezu. Graf nám skočil na 407 s, což odpovídá zhruba 6 minutě, délka pohybu trvala 0,58 s a končetina vykonala pohyb v rozsahu 57 cm, z čehož můžeme odvodit, že šlo o celkem velký záškub nohou.



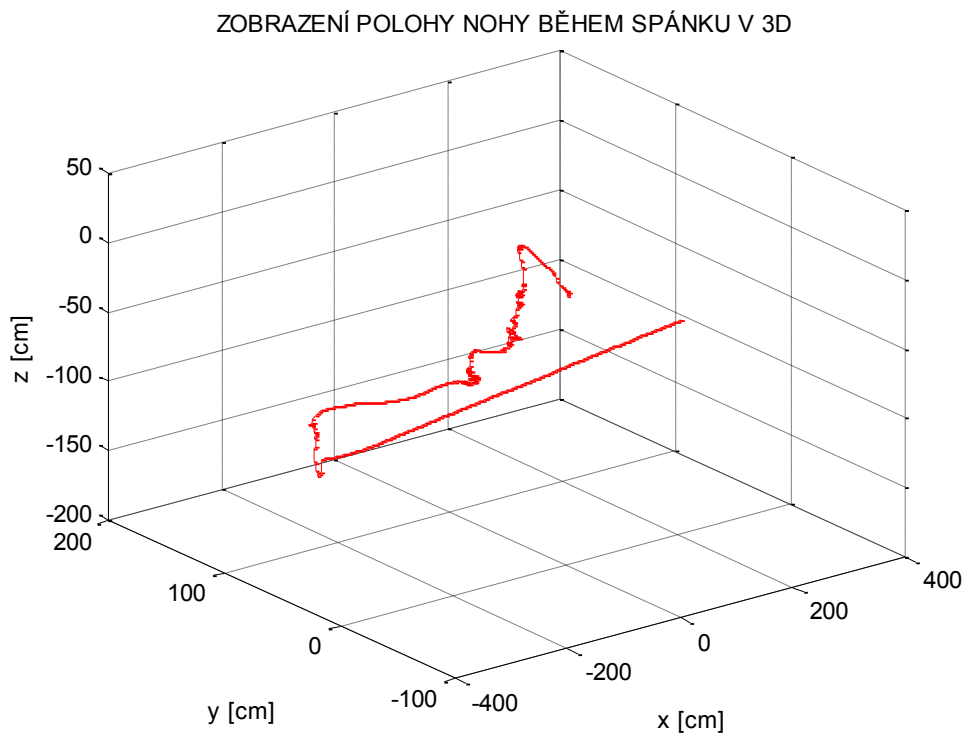
Obrázek 74 Provedení analýzy dat, vkládání poznámky.

Pohyb pokládáme za významný, byla vepsána poznámka k datům.



Obrázek 75 Poznámka v datech.

Pro celkovou představu o pohybu v prostoru, byl využit 3D graf, kde jdou vidět kmity podél osy x, osa y zůstává ve stejné výšce, mírně se zvedá křivka podél osy z, vlivem kmitavého pohybu končetiny.

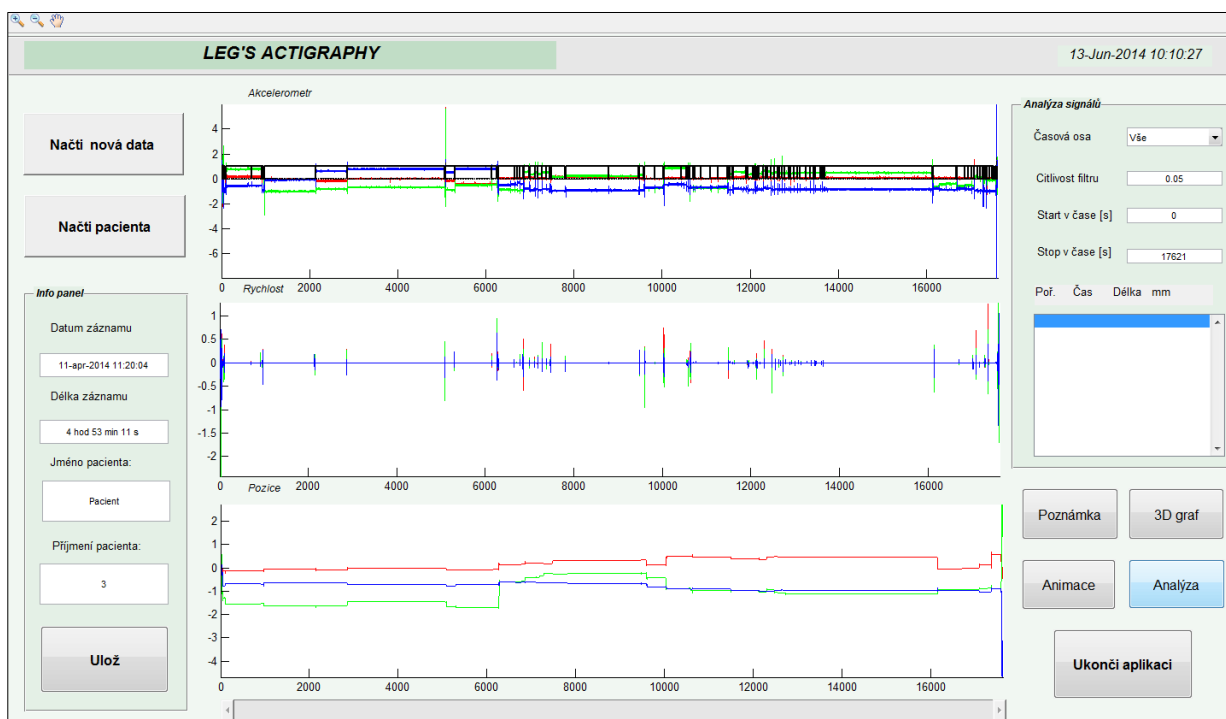


Obrázek 76 3D zobrazení.

8.2 Insomnie

Nespavost je asi nejčastější spánková porucha, velmi často je způsobena stresem, špatným životním stylem, nebo medikamenty. Člověk trpící insomnií, chodí pozdě spát, zpravidla v době kolem půlnoci. Během spánku, se několikrát vzbudí a velmi špatně znovu usíná, má potřebu se neustále převalovat na lůžku a hledat vhodnější polohu ke spánku. K usnutí dochází až k ranním hodinám, ale tento stav netrvá dlouho a postižený není schopný znovu usnout a vstává tak v brzkých ranních hodinách. Spánek není osvěžující, naopak přináší pocit malátnosti a otupělosti.

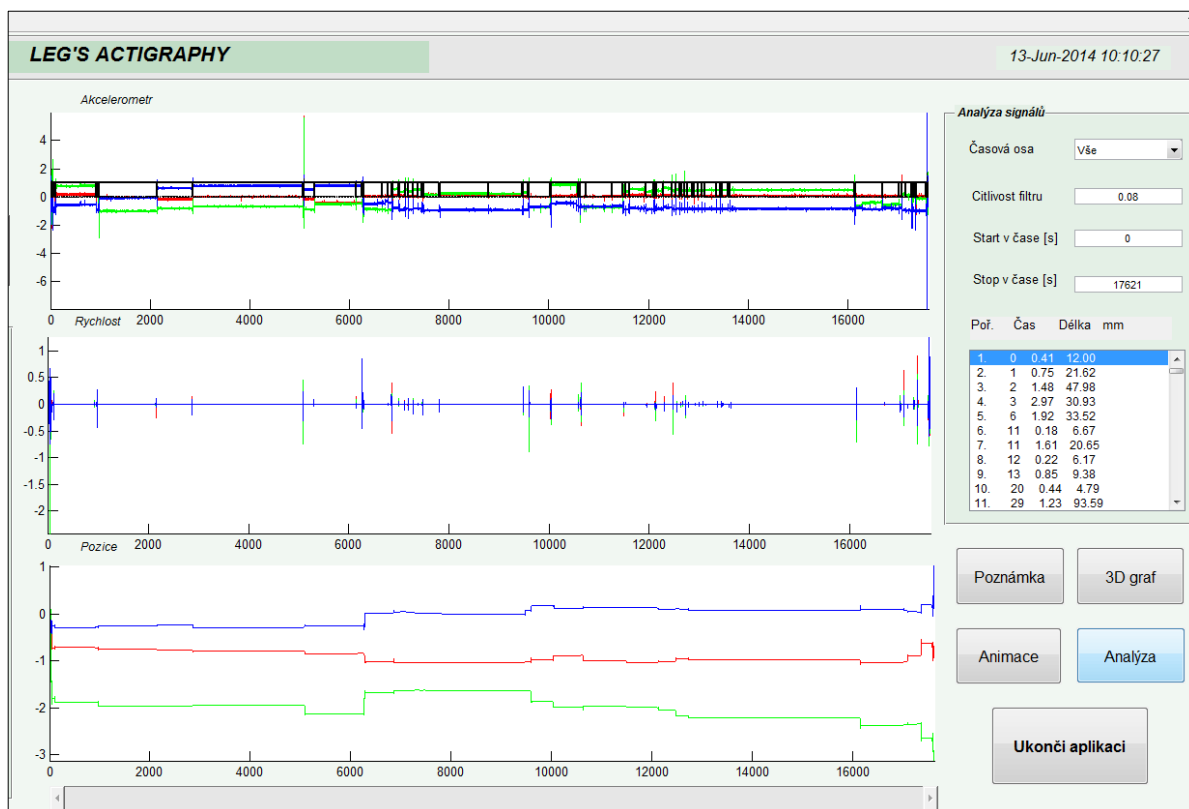
Na obrázku níže je příklad typické nespavosti. Subjekt se uložil ke spánku kolem půlnoci, během NREM fází spánku se několikrát vzbudil a převaloval se. Ve fázích REM je klidná linie. Během spánku předpokládáme malé pohyby ve smyslu otáčení, proto citlivost práh zvýšíme jen mírně z hodnoty 0.05 na hodnotu 0.08, odfiltrujeme tak drobné pohyby, které lze považovat spíše za artefakty. V tomto případě je pro nás stěžejní doba ulehnutí a délka spánku.



Obrázek 77 Data po načtení, neupravená.

Obrázek 78 Data z info panelu, přiblížení

Po zvýšení citlivostního prahu, byla provedena analýza dat.



Obrázek 79 Data po změně citlivostního prahu

Po zběžném prozkoumání velikosti kmitů, lze vidět, že subjekt nevykonával žádné periodické pohyby končetinou ve smyslu záchvatu, nebo tiku. Hodnoty kmitů jsou v rozmezí 1 až cca 10 cm, což není nijak velký pohyb, který by se měl pokládat za důležitý, poukazuje nám však na doby neklidu během pokusu o spánek.

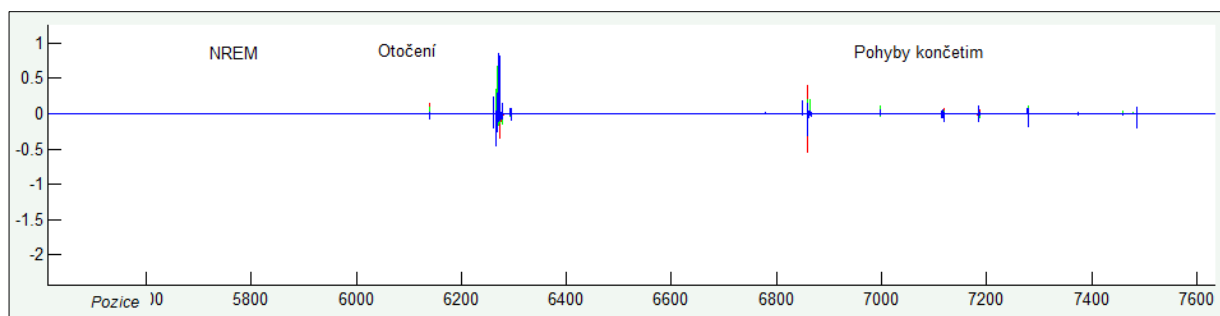
Poř.	Čas	Délka	mm
92.	6138	0.38	20.14
93.	6261	1.55	29.15
94.	6264	1.01	42.51
95.	6266	0.38	12.55
96.	6267	0.65	28.66
97.	6269	0.82	68.78
98.	6270	0.13	4.07
99.	6270	2.95	94.50
100.	6277	0.41	14.53
101.	6277	0.69	17.31
102.	6279	0.48	22.63

Poznámka 3D graf

Animace Analýza

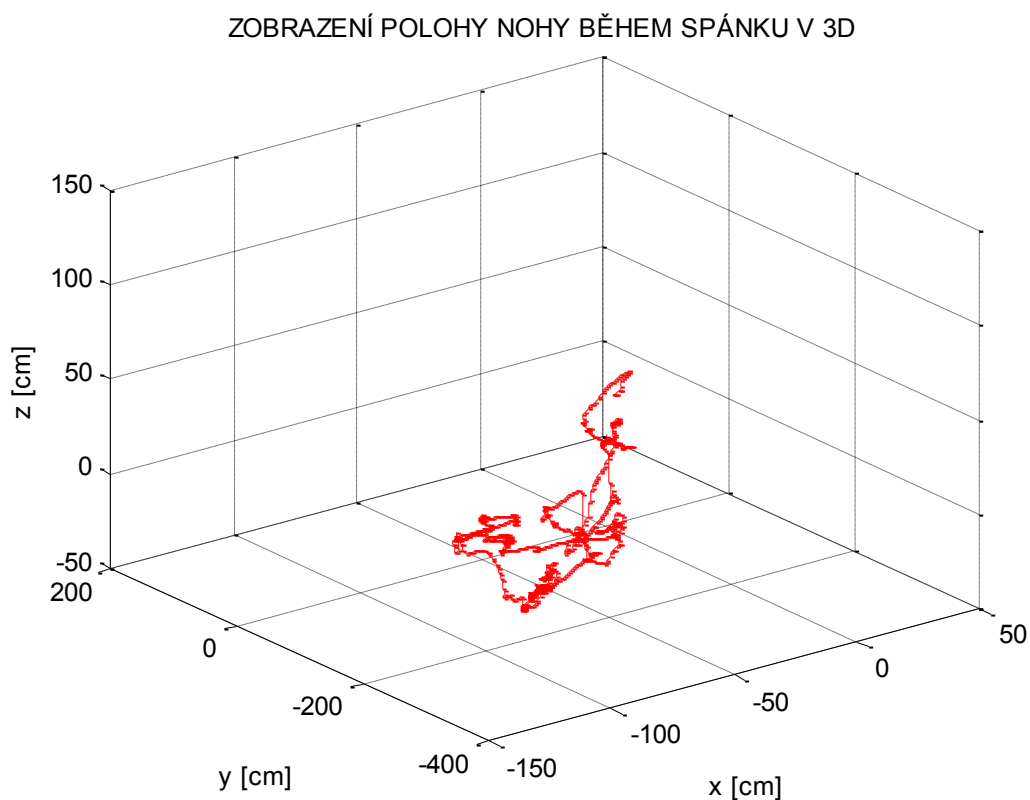
Obrázek 80 Analýza dat, přiblížení.

Do grafu byla zaznačena informace o přibližném začátku NREM fáze (cca 2 hodiny) a začátku pohybu končetinami.



Obrázek 81 Vložení poznámek.

Na 3D grafu lze vidět malý rozsah pohybu, probíhající na malé ploše.

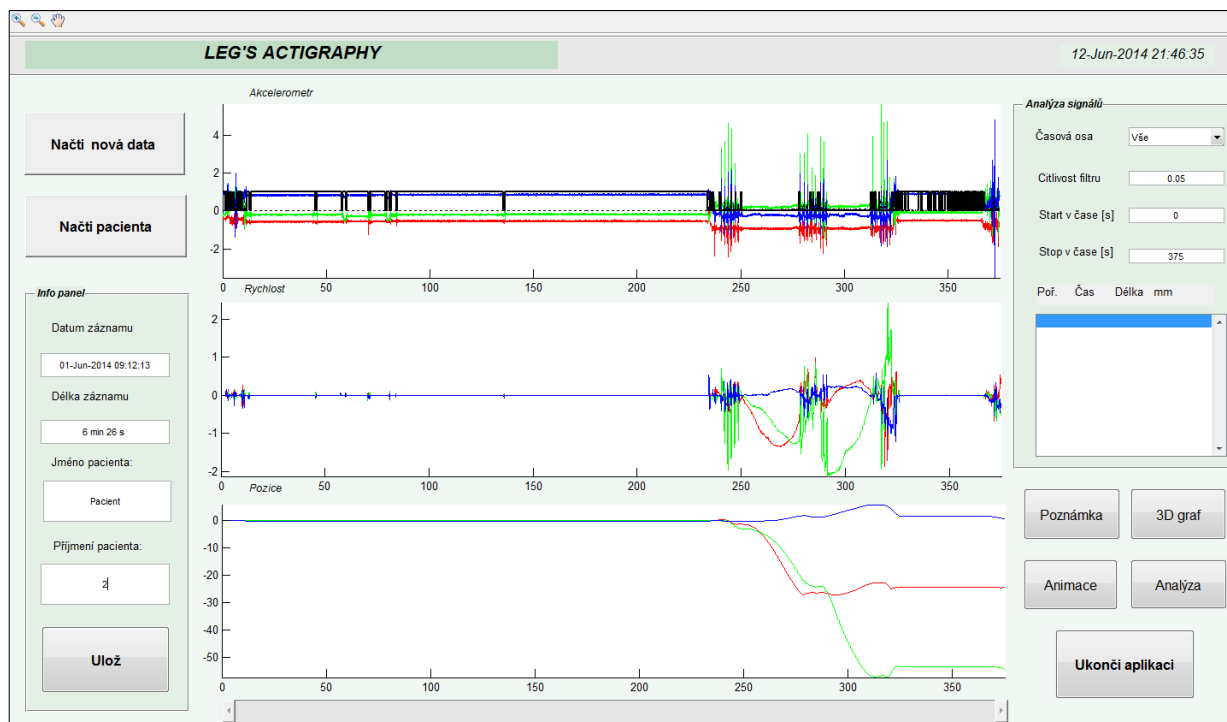


Obrázek 82 3D zobrazení.

8.3 Somnambulismus

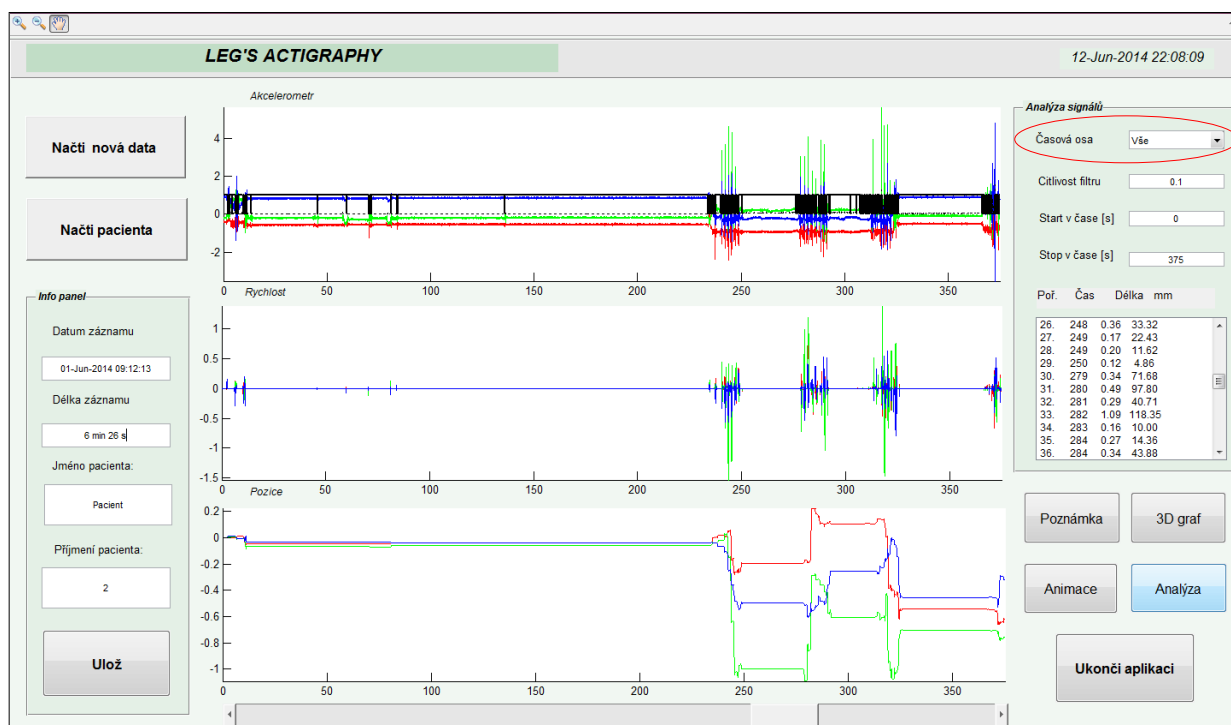
Somnambulismus, česky řečeno náměsíčnost, je porucha spánku projevující se zejména v NREM fázi spánku. V lehkých případech si postižený sedá na posteli nebo na okraji lůžka a chvíli vykonává jednoduché bezcílné pohyby, pak se opět uloží a spí. V těžších případech vstává s otevřenými očima, a aniž by si to uvědomil, vykonává několikaminutové procházky. Pohybuje se pravidelně, mívá překážky, někdy však může dojít k úrazu. Může se obléci nebo naopak svléci, otvírat a zavírat dveře a okna vypít nápoj atd.

Při těchto činnostech nenavazuje žádný kontakt a neodpovídá na otázky. Probuzení je složité. Obvykle se postižený asi po 15 minutách sám vrací na lůžko nebo ulehá někde jinde a usíná. Během náměsíčnosti je postižený schopen vykonávat různé činnosti, například vstát a spravovat okenní žaluzie, nebo urovnávat věci. Nejčastější podobou náměsíčnosti je procházení se malými šouravými krůčky po místnosti a spontánní návrat do lůžka. Pro ilustraci náměsíčnosti lze na obrázku níže vidět chůze k oknu, otočení a chůze zpět do lůžka.



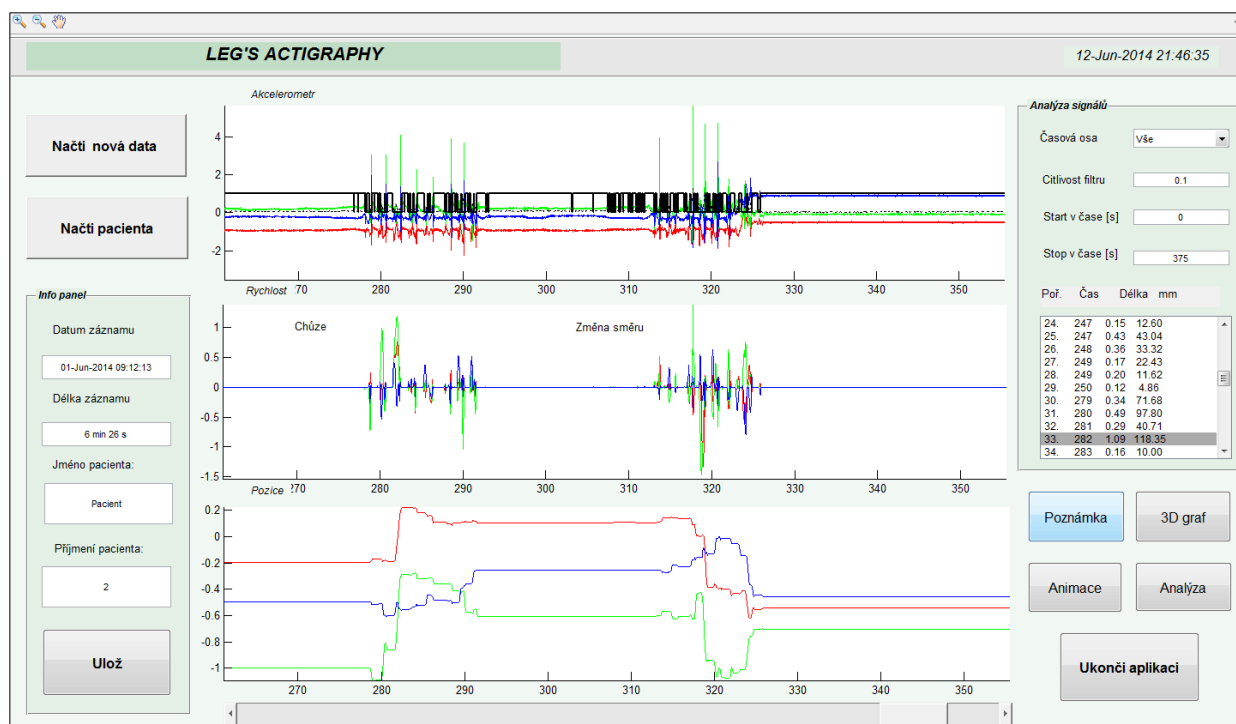
Obrázek 83 Data po načtení, neupravená.

Po prvotním posouzení dat, byla zvolena vyšší citlivost filtru. Data byla filtrována s citlivostí 0.1, místo 0.05, což je dvakrát snížená citlivost filtru. V tomto případě není žádoucí posuzovat drobnou motoriku, ale pohyby vyznačující se větším rozsahem.



Obrázek 84 Data po zvýšení citlivostního prahu.

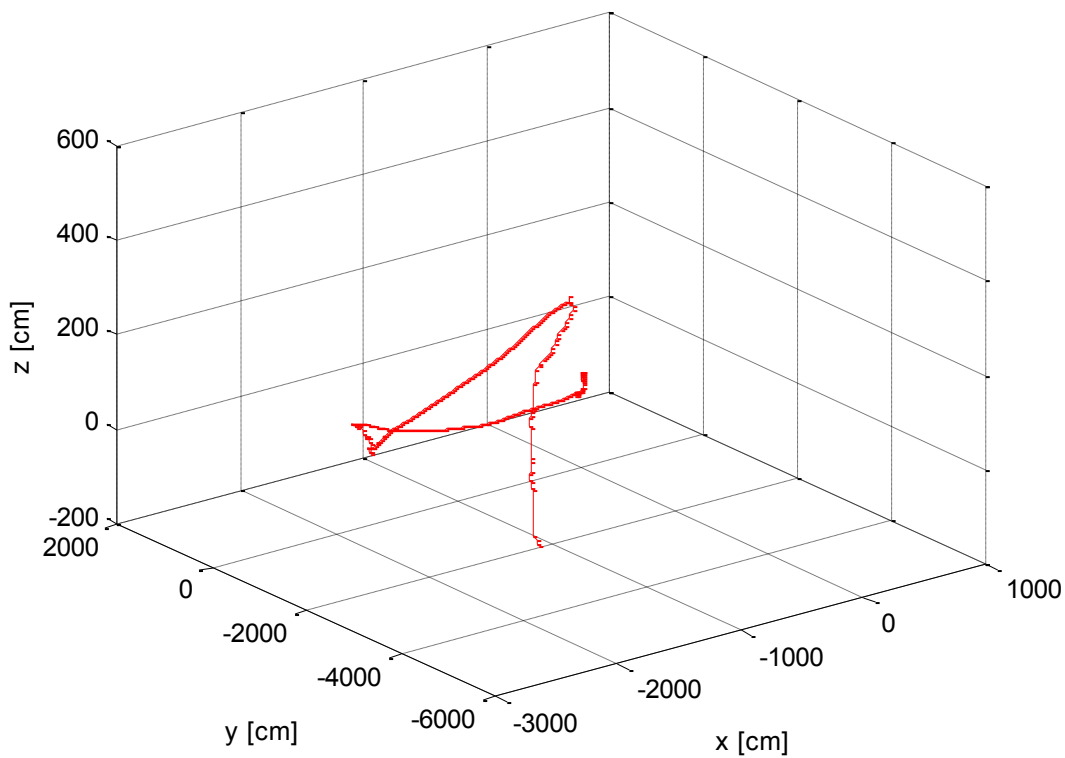
Data byla pomocí časové osy a zoom tlačítek přiblížena na oblast zájmu. Na takto přiblížených datech, jdou vidět pravidelné kmity odpovídající malým pomalým krůčkům a také lze pozorovat změnu orientace pohybu.



Obrázek 85 Vložení poznámek.

Na 3D grafu jde velmi dobře vidět směr a vzdálenost, která byla uražena. Místnost kde byla data měřena má délku dva metry, což podle 3D grafu odpovídá vzdálenosti od lůžka k oknu.

ZOBRAZENÍ POLOHY NOHY BĚHEM SPÁNKU V 3D



Obrázek 86 3D zobrazení.

9. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout aplikaci pro vyhodnocení biologických signálů. Lidský organismus, produkuje velké množství veličin, které je možné snímat a zpracovávat. Veličiny mají různou výpovědní hodnotu a velmi záleží na tom, jak se zpracují a vyhodnocují. V medicíně je již velké množství zaběhnutých standardů, které slouží k diagnostickým účelům. V této práci byl podán návrh na vyhodnocování kvality spánku a spánkových poruch na podkladě dat získaných z pohybu z dolní končetiny.

V praxi je běžně využívána aktigrafie, která snímá data z horní, méně používané končetiny. Tato metoda dává pouze informaci o délce trvání pohybu. Data se sbírají například týden a zjistíme tak spánkové návyky pacienta. Chybí ovšem informace o charakteru pohybu během spánku. Vyřešit tento problém bylo hlavním cílem této práce. K získávání dat bylo použito zařízení x-IMU, které na rozdíl od běžné aktigrafie využívající jeden snímač, zaznamenávající zrychlení, používá tři osové senzory akcelerometru, magnetometru a gyroskopu a dává nám tak informaci o pohybu v 3D rovině. Tyto přesnější informace spolu se softwarem Leg's actigraphy dokáže precizně zmapovat pohyb končetiny během spánku, získáme tak lepší představu o pohybu.

Každá porucha spánku je specifická. Bylo nutné nastudovat a prokonzultovat na odborném pracovišti FNO charakteristické projevy poruch a podle toho řídit vývoj softwaru. Nemalou část na finální podobě také nesou požadavky vznesené od potenciálních uživatelů. Softwary pro nemocniční prostředí by měly být co nejjednodušší, co se týká obsluhy a manipulace, měly by provést co největší část analýzy automaticky a usnadnit tak práci zdravotnickému personálu. Software je schopen provést filtraci dat s několika stupni citlivosti, lze si zvolit adekvátní časovou osu dle délky záznamu. Uživatel může provést analýzu signálu, díky které se může přímo zaměřit na vybrané důležité vybrané části záznamu, bez zdlouhavého projíždění. K datům je možné vepsat libovolnou poznámku. Pro celkovou představu o pohybu, lze data zobrazit pomocí 3D grafu anebo přehrát pohyb pomocí animace. Dalším důležitým aspektem pro přehlednou práci se softwarem, je práce se složkami. Uživatel si může najet do databáze vytvořených pacientů, nebo si nové pacienty vytvořit. U každého vytvořeného souboru, jsou uloženy informace o jménu a příjmení pacienta, délce záznamu, pořízení záznamu, poznámky k analýze, informace o tom kdy byla data uložena a zpracována.

V možnosti mapování pohybu končetiny během spánku lze vidět budoucnost. 3D zobrazení nám poskytuje velké množství informací, které lze úspěšně využít k možné diagnostice spánkové poruchy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] X-IMU-User-Manual.pdf, x-io Technologies, 2013.
- [2] NEVŠÍMALOVÁ, Soňa a Karel ŠONKA. *Poruchy spánku a bdění*. 2., dopl. a přepr. vyd. Praha: Galén, 2007. 345 s. ISBN 978-80-7262-500-0.
- [3] BORZOVÁ, Claudia a Roman JIRÁK. Standardy diagnostiky a léčby organicky podmíněných psychických poruch. *Psychiatrie pro praxi*. 2006, roč. 7, č. příloha, s. 1-27. ISSN 1803-5272.
- [4] BORZOVÁ, Claudia. *Nespavost a jiné poruchy spánku*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009. 141 s. ISBN 978-80-247-2978-7.
- [5] ZAPLATÍLEK, Karel a Bohuslav DOŇAR. MATLAB, *tvorba uživatelských aplikací*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004. 215 s. ISBN 80-7300-133-0.
- [6] FRODLOVÁ, Lenka, *Spánek v seniorském věku*, Bakalářská práce, lékařská fakulta, Masarykova univerzita, Brno 2012, 109, Vedoucí práce: doc. PhDr. Miroslava Kyasová, Ph.D.
- [7] NOVÁK, Vilém, AUGUSTÝNEK Martin, BRYJOVÁ Iveta a Barbora HRVOLOVÁ, *Diagnostické metody v medicíně*, 1. vydání. Ostrava 2013, 266. ISBN 978-80-248-3101-5
- [8] <http://zdravi.e15.cz/clanek/postgradualni-medicina/spankova-medicina-v-pneumologii-obstrukcni-spankova-apnoe-460142>
- [9] http://tidsskriftet.no/article/3011088/en_GB
- [10] <http://cs.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
- [11] <http://www.parkzone.com/Products/Default.aspx?ProdID=EFLB1501S>
- [12] <http://fyzmatik.pise.cz/633-gyroskop.html>
- [13] <http://www.spanek.psychoweb.cz/>
- [14] <http://galenus.cz/clanky/zdravi/nervy-spanek-REM-faze-spanku>
- [15] http://zdravi.e15.cz/news/check-pro?id=451805&seo_name=priloha-lekarske-listy
- [16] http://zdravi.e15.cz/news/check-pro?id=460142&seo_name=postgradualni-medicina
- [17] <http://zivotni-energie.cz/uvod-do-eeg-vyznamne-frekvence-grafoelementy.html>
- [17] <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/16-01-Balek.html>
- [18] http://tinero.blogg.no/1324633872_23des2011.html
- [19] <http://www.lucidreamexplorers.com/dreamscience/>
- [20] <http://guardianlv.com/2014/04/ketamine-miracle-cure-for-severe-depression/>
- [21] <http://redpacientes.com/social/posts/view/102467/195>

- [22]<http://www.comunitateaprocannabis.com/cannabis-info/un-compus-chimic-din-marijuana-leac-pentru-suferinzii-de-epilepsie>
- [23]<http://www.epilepsiebrno.cz/epilepsie-jaka-vysetreni-je-nutne-provest.html>
- [24]<http://zdravi.e15.cz/clanek/postgradualni-medicina/spankova-medicina-v-pneumologii-obstrukcni-spankova-apnoe-460142>
- [25]<http://miac.unibas.ch/PMI/03-ComputedTomography.html>
- [26]http://www.etoc.biz/text_course/etoc_text_files/medical/cardiology/13.7.%20Cardiac%20Imaging%20Tests.pdf
- [27]<http://www.dspguide.com/ch25/5.htm>
- [28]<http://www.actigraphcorp.com/products/gt3x-monitor/>

Přílohy

Příloha A, uživatelské prostředí

70

Příloha A

